

AVALIAÇÃO DA INTEGRAÇÃO DE SISTEMAS SOLARES PASSIVOS EM EDIFÍCIOS

CATARINA MOREIRA BARREIRO

Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de
MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL — ESPECIALIZAÇÃO EM CONSTRUÇÕES

Orientador: Professora Doutora Maria Helena Póvoas Corvacho

JUNHO DE 2016

MESTRADO INTEGRADO EM ENGENHARIA CIVIL 2015/2016

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Tel. +351-22-508 1901

Fax +351-22-508 1446

✉ miec@fe.up.pt

Editado por

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO

Rua Dr. Roberto Frias

4200-465 PORTO

Portugal

Tel. +351-22-508 1400

Fax +351-22-508 1440

✉ feup@fe.up.pt

🌐 <http://www.fe.up.pt>

Reproduções parciais deste documento serão autorizadas na condição que seja mencionado o Autor e feita referência a *Mestrado Integrado em Engenharia Civil - 2015/2016 - Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2016*.

As opiniões e informações incluídas neste documento representam unicamente o ponto de vista do respetivo Autor, não podendo o Editor aceitar qualquer responsabilidade legal ou outra em relação a erros ou omissões que possam existir.

Este documento foi produzido a partir de versão eletrónica fornecida pelo respetivo Autor.

À minha família

Os edifícios também são filhos da Terra e do Sol

Frank Lloyd Wright

AGRADECIMENTOS

Ao concluir este trabalho expresso aqui o meu reconhecimento a todos aqueles que contribuíram para a sua realização, em especial:

À Professora Maria Helena Póvoas Corvacho, pelo cuidado e dedicação com que orientou o trabalho, pelos conhecimentos transmitidos, pelas sugestões que tanto enriqueceram o estudo efetuado.

À Arq. Helena Barreiro, ao Eng. José Costa, e ao Engº Bruno Bezerra, pela dedicação, compreensão, disponibilidade e paciência demonstrados e também por todo o apoio face à utilização de algum software.

Aos meus colegas e amigos, que me acompanharam ao longo da última fase do meu curso, em especial à Cláudia Coordeiro, ao Arqº Manuel Caló e à Helena Rodrigues.

Aos meus amigos, em especial à Andreia Martins, à Carmen Sá Reis Ribeiro, à Rita Machado, à Barbara Antunes e ao Vasco Barros, pela amizade que me transmitiram ao longo destes anos e também, por me apoiarem em todos os momentos.

Aos meus pais e irmãos, pelos princípios que sempre me transmitiram e por todo o apoio e paciência demonstrados.

Ao meu marido, por todo o carinho, incentivo e preocupação demonstrados nesta etapa da minha vida.

RESUMO

O aumento do consumo de energia destinado ao aquecimento e arrefecimento dos edifícios leva à adoção de medidas que promovam a eficiência energética das habitações. Uma das soluções consiste na utilização de sistemas solares passivos, que promovem o conforto térmico no interior dos edifícios, recorrendo à captação de energia solar ou a técnicas de arrefecimento passivo, tentando evitar deste modo a dependência continua face aos sistemas ativos. Após uma revisão bibliográfica de vários sistemas solares passivos, foi escolhido como caso de estudo, um edifício em fase de projeto. Com recurso ao software DesignBuilder, procedeu-se à simulação dinâmica do edifício. A estratégia adotada para a simulação dinâmica do edifício, passou inicialmente pela simulação do edifício real, ou seja, sem qualquer alteração do projeto de arquitetura, para posteriormente, após verificação de necessidades do edifício, implementar algumas estratégias com inclusão de sistemas solares passivos, de modo a obter resultados a nível de conforto satisfatórios, considerando para o efeito, um intervalo de conforto situado entre 18 °C (Inverno) e 25 °C (Verão). As estratégias adotadas passaram pela alteração dos vãos envidraçados, inclusão de elementos de proteção solar e inclusão de paredes trombe. Todavia, outros softwares contribuíram para este estudo. O software Climate Consultant 6.0 permitiu realizar um estudo referente ao clima da cidade onde o edifício está inserido, auxiliando também o dimensionamento dos elementos de proteção solar. O software Window 7.4, permitiu realizar um estudo referente aos vãos envidraçados, possibilitando através do conhecimento de algumas características (fator solar, coeficiente de transmissão luminosa e coeficiente de transmissão térmica), uma escolha adequada que permita melhorias relativas ao conforto no interior do edifício.

Concluiu-se que através da adoção de sistemas passivos é possível reduzir as necessidades energéticas nos edifícios. No edifício referente ao caso de estudo, a inclusão das paredes trombe ventiladas, a alteração dos vãos envidraçados e a inclusão de elementos de proteção solar (palas horizontais) sobre vãos envidraçados orientados a Sul, permitiu uma redução das necessidades energéticas para aquecimento (em cerca de 36,96%) e das necessidades energéticas para arrefecimento (em cerca de 19,02%).

PALAVRAS-CHAVE: simulação dinâmica, vãos envidraçados, proteção solar, sistemas solares passivos, parede trombe.

ABSTRACT

The increase in energy consumption for heating and cooling of buildings leads to the adoption of measures to promote energy efficiency in housing. One solution is to use passive solar systems, promoting thermal comfort in the interior of buildings, using the capture of solar energy or passive cooling techniques, thus trying to avoid the continuous dependence on active systems. After a literature review of several passive solar systems, it was chosen as a case study, a building in the design phase. Using the software Design Builder, we proceeded to the dynamic simulation of the building. The strategy adopted for the dynamic simulation of the building, started with the simulation of the real building, without any changes to the architectural design. Later, after assessing the situation regarding the building needs, we implement some strategies including passive solar systems, in order to get results to fulfill the satisfactory level of Comfort, considering for this purpose, a comfort level between 18 °C (Winter) e 25°C (Summer). The strategies adopted include the change of the glazed areas, inclusion solar protection elements and inclusion of trombe walls. However, other software contributed to this study. The Climate Consultant 6.0 software allowed the study of the city weather conditions where the building is inserted, helping the design of solar protection elements. The Window 7.4 software, allowed the study of the glazed areas, through knowledge of some features (solar factor, light transmission coefficient and coefficient of thermal transmission), therefore enabling suitable choices leading to improvements relating to comfort inside the building.

It was concluded that by adopting passive solar systems, buildings energy requirements can be reduced. In the present study case, the inclusion of ventilated trombe walls, the alteration of the glazed areas and the inclusion of sun protection elements (horizontal) on glazed areas south oriented, allowed a reduction of the energy requirements for heating (around 36,96 %) and the energy requirements for cooling (around 19,02%).

KEYWORDS: dynamic simulation, glazed areas, solar protection, passive solar systems, trombe walls.

ÍNDICE GERAL

AGRADECIMENTOS	i
RESUMO	iii
ABSTRACT	v
 1 INTRODUÇÃO	 1
1.1. ENQUADRAMENTO GERAL	1
1.2. PRINCIPAIS OBJETIVOS	2
1.3. ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO	2
 2 ARQUITETURA BIOCLIMÁTICA	 3
2.1. O CONCEITO	3
2.2. O SOLAR PASSIVO E SUA EVOLUÇÃO	4
2.3. O SOLAR PASSIVO EM PORTUGAL	5
2.4. O DESENHO PASSIVO	10
2.4.1. O CLIMA	10
2.4.1.1. TEMPERATURA DO AR	10
2.4.1.2. RADIAÇÃO SOLAR	10
2.4.1.3. HUMIDADE	12
2.4.1.4. VENTO	12
2.4.2. O CLIMA EM PORTUGAL	12
2.4.3. ENERGIA SOLAR E OS EDIFÍCIOS	14
2.4.4. GEOMETRIA SOLAR	15
2.4.5. INÉRCIA TÉRMICA	17
2.4.6. VENTILAÇÃO NATURAL	17
2.4.7. CONDICIONANTES EXTERNAS	21
2.4.7.1. IMPLANTAÇÃO	21
2.4.7.2. ORIENTAÇÃO E FORMA	22
2.4.7.3. VEGETAÇÃO	24
2.4.8. CONDICIONANTES INTERNAS	25
2.4.8.1. ENVOLVENTE OPACA	25
2.4.8.2. ENVOLVENTE NÃO OPACA	27
 3 SISTEMAS SOLARES PASSIVOS	 33
3.1. CLASSIFICAÇÃO	33
3.2. SISTEMAS DE AQUECIMENTO PASSIVO – DIRETOS	34
3.2.1. JANELAS SOLARES	36
3.2.2. LANTERNINS	37
3.2.3. CLARABOIAS	38
3.3. SISTEMAS DE AQUECIMENTO PASSIVO – INDIRETOS	39
3.3.1. PAREDES DE ARMAZENAMENTO TÉRMICO	39
3.3.2. COBERTURAS DE ARMAZENAMENTO TÉRMICO	45
3.3.3. PAVIMENTOS DE ARMAZENAMENTO TÉRMICO	45
3.4. SISTEMAS DE AQUECIMENTO PASSIVO – ISOLADOS	46
3.4.1. ESTUFAS	46

3.4.2. COLETORES DE AR	48
3.5. SISTEMAS DE ARREFECIMENTO PASSIVO – DIRETOS	49
3.5.1. PROTEÇÃO SOLAR	49
3.5.2. VENTILAÇÃO NATURAL	51
3.5.3. CONSTRUÇÕES ENTERRADAS	53
3.5.4. ARREFECIMENTO POR EVAPORAÇÃO DE ÁGUA	54
3.5.5. ARREFECIMENTO POR DESUMIDIFICAÇÃO	54
3.6. SISTEMAS DE ARREFECIMENTO PASSIVO – INDIRETOS	54
3.6.1. ARREFECIMENTO POR RADIAÇÃO NOTURNA	55
3.6.2. ARREFECIMENTO POR VENTILAÇÃO NOTURNA DOS ELEMENTOS DE ARMAZENAMENTO TÉRMICO.....	55
3.7. SISTEMAS DE ARREFECIMENTO PASSIVO - ISOLADO	55
3.8. VANTAGENS E DESVANTAGENS NA APLICAÇÃO DOS SISTEMAS SOLARES PASSIVOS	56

4 INTEGRAÇÃO DE SISTEMAS SOLARES PASSIVOS

4.1. CASO DE ESTUDO	59
4.1.1. DESCRIÇÃO DO EDIFÍCIO	59
4.1.2. LOCALIZAÇÃO DO EDIFÍCIO	60
4.1.3. CARACTERIZAÇÃO CONSTRUTIVA.....	60
4.2. SOFTWARE UTILIZADO	61
4.2.1. ESTRATÉGIA ADOTADA PARA SIMULAÇÃO	61
4.2.2. CLIMATE CONSULTANT V6.0	63
4.2.3. WINDOW V7.4.....	68
4.2.4. DESIGN BUILDER V4.7.0.027	73
4.3. SIMULAÇÕES E RESULTADOS	79
4.3.1. SIMULAÇÃO 1 – EDIFÍCIO REAL	79
4.3.1.1. SIMULAÇÃO 1.1 – EDIFÍCIO REAL SEM SISTEMAS ATIVOS	80
4.3.1.2. SIMULAÇÃO 1.2 – EDIFÍCIO REAL COM SISTEMAS ATIVOS (AQUECIMENTO & ARREFECIMENTO)	101
4.3.2. SIMULAÇÃO 2.....	105
4.3.3. SIMULAÇÃO 3.....	116
4.3.4. SIMULAÇÃO 4.....	121
4.3.4.1. SIMULAÇÃO 4.1 – PAREDES TROMBE VENTILADAS 1 E 2	122
4.3.4.2. SIMULAÇÃO 4.2 – PAREDES TROMBE NÃO VENTILADAS 1 E 2.....	127
4.3.5. SIMULAÇÃO 5.....	132
4.3.5.1. SIMULAÇÃO 5.1 – PAREDE TROMBE VENTILADA 3.....	133
4.3.5.2. SIMULAÇÃO 5.2 – PAREDE TROMBE NÃO VENTILADA 3	138
4.3.6. SIMULAÇÃO 6 – PAREDE TROMBE NÃO VENTILADA 4.....	142
4.3.7. SIMULAÇÃO 7.....	150
4.3.7.1. SIMULAÇÃO 7.1 – EDIFÍCIO COM MELHORES ESTRATÉGIAS E SEM SISTEMAS ATIVOS	151
4.3.7.2. SIMULAÇÃO 7.2 – EDIFÍCIO COM MELHORES ESTRATÉGIAS E COM SISTEMAS ATIVOS.....	165

5 CONCLUSÕES E POSSÍVEIS DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

5.1. CONCLUSÕES	171
5.1.1. CONCLUSÕES CASO DE ESTUDO.....	171
5.1.2. CONCLUSÕES GERAIS.....	174
5.2. POSSÍVEIS DESENVOLVIMENTOS FUTUROS	175

BIBLIOGRAFIA.....	176
ANEXOS	179

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1- O Palácio de Cristal de John Paxton na Grande Exposição de Londres [5]	4
Figura 2.2 – Casa experimental, em Odeillo, no Sul de França [6]	5
Figura 2.3 – Casa Solar, em Rockford [7]	5
Figura 2.4 – Casa Termicamente Otimizada - fotografia (à esquerda) [8] e corte (à direita) [8]	6
Figura 2.5 – Casa solar passiva de Vale Rosal - estufa a Sul no Inverno (à esquerda) [9] e Corte representativo da conjugação da parede trombe com a fuga da lareira (à direita) [9]	6
Figura 2.6 – Casa Schäfer.- Fotografia do alçado Sul (à esquerda) [10] e corte representativo do esquema de ventilação (à direita) [10]	7
Figura 2.7 – Edifício Torre Verde – Fotografia [11]	7
Figura 2.8 - Moradias de Janas – Fotografia de alçado Sul [12]	8
Figura 2.9 – Corte representativo - estratégia de Verão (à esquerda) e estratégia no Inverno (à direita) [13]	8
Figura 2.10 – Casa em Romeirão – Fotografia de alçado Sul (à esquerda) [14] e de cobertura (à direita) [14]	8
Figura 2.11 – Casas na Areia – Fotografias [15]	9
Figura 2.12 – Radiação solar incidente	11
Figura 2.13 – Relação entre o ângulo de incidência (α), a massa atmosférica e a superfície (S) [16]	11
Figura 2.14 - Zonas climáticas no continente, de inverno (à esquerda) e Verão (à direita) [18]	13
Figura 2.15 - Distribuição para Portugal Continental: da radiação solar global média (à esquerda) [16] e dos valores médios anuais do número de horas de sol (à direita) [16]	14
Figura 2.16 - Ângulos α e h [20]	15
Figura 2.17 - Carta solar para a cidade do Porto ($41,1^\circ N$) (adaptado de [19])	16
Figura 2.18 - Trajetória aparente do Sol para o Hemisfério Norte [10]	16
Figura 2.19 - Efeito da massa térmica na estabilização da temperatura interior [21]	17
Figura 2.20 - Distribuições de pressão resultante da ação do vento [22]	18
Figura 2.21 - Fenómeno de ventilação por diferença de pressão devido à ação térmica [23]	18
Figura 2.22 - Sentido dos fluxos de ar devido à ação térmica [24]	19
Figura 2.23 - Alternativas de posicionamento das aberturas de admissão de ar [25]	20
Figura 2.24 – Diferentes localizações dos edifícios [26]	21
Figura 2.25 – Representação em planta da hierarquia da fenestração e da criação de zonas térmicas intermediárias ou zonas tampão [26]	23
Figura 2.26 - Perdas térmicas através de diferentes estruturas tridimensionais com o mesmo volume [26]	23
Figura 2.27 – Representação esquemática dos valores de radiação nas fachadas de um edifício no Verão e no Inverno [26]	24
Figura 2.28 - Esquema de utilização e benefícios de utilização de vegetação [27]	24
Figura 2.29 – Variação da radiação solar global em janelas verticais de diferentes orientações, nas diversas horas do dia, para 40° latitude Norte [26]	28
Figura 2.30 - Decomposição da radiação incidente num envidraçado (adaptado de [32])	28
Figura 3.1 - Classificação dos sistemas de climatização nos edifícios em função dos tipos de aproveitamento energético [3]	33
Figura 3.2 - Sistema de aquecimento passivo - ganho direto: tipos de coletores solares [36]	35
Figura 3.3 - Sistema Ganho Direto – tipos de vidro [26]	36
Figura 3.4 – Capacidades de armazenamento térmico de dois compartimentos diferentes, com vãos envidraçados orientados a Sul e expostos à radiação solar direta num dia de Inverno [26]	37
Figura 3.5 – Corte esquemático de lanternim: em plano vertical (à esquerda) e de cobertura em dente de serra (à direita)	38

Figura 3.6 – Lanternim: a) distância do lanternim à parede de armazenamento, b) Ângulo de inclinação [36].....	38
Figura 3.7 – Corte esquemático de claraboia em plano horizontal	38
Figura 3.8- Claraboia em plano inclinado com sistema refletor	39
Figura 3.9 - Parede não ventilada no Inverno: durante o dia (à esquerda) e durante a noite (à direita)	42
Figura 3.10 - Parede não ventilada no Verão: durante o dia (à esquerda) e durante a noite (à direita)	42
Figura 3.11- Parede de trombe ventilada no Inverno: durante o dia (à esquerda) e durante a noite (à direita)	43
Figura 3.12 - Parede de trombe ventilada no Verão: durante o dia (à esquerda) e durante a noite (à direita)	43
Figura 3.13 - Parede de trombe ventilada funcionando com bomba de ar quente, durante o dia no Verão[40]	43
Figura 3.14 - Parede de trombe ventilada na Primavera/Outono: durante o dia (à esquerda) e durante a noite (à direita)	44
Figura 3.15 - Funcionamento de uma parede de água com tambores [41]	44
Figura 3.16 - Esquema de funcionamento da parede de água. Sistema Transwall [42]	45
Figura 3.17 - Cobertura de água	45
Figura 3.18 – Pavimento de armazenamento térmico	46
Figura 3.19 – Estufa adossada e estufa integrada [44].....	47
Figura 3.20 - Coletor de ar no inverno exterior/interior e coletor de ar no verão exterior/interior [10] ..	48
Figura 3.21 - Sistema de termosifão com leito de rochas [3]	49
Figura 3.22 – Sombreamento através de vegetação de folha caduca no Verão (esquerda) e no Inverno (direita).....	49
Figura 3.23 - Exemplos de sistemas de proteção solar exteriores de janelas [3].....	50
Figura 3.24 - Efeito de elementos de sombreamento na iluminação natural de um compartimento [45]	51
Figura 3.25 – Corte esquemático de sistema de ventilação cruzada	51
Figura 3.26 - Corte esquemático de sistema de ventilação induzida ou efeito chaminé	52
Figura 3.27 - Corte esquemático de sistema de câmara solar na cobertura	52
Figura 3.28 – Corte esquemático de sistema de ventilação estático	53
Figura 3.29 - Corte esquemático de sistema de ventilação de torre de vento	53
Figura 3.30 - Exemplo de construção enterrada: Casa Baião, Souto Moura [46]	53
Figura 3.31 – Corte esquemático de arrefecimento por evaporação de água	54
Figura 3.32 - Esquema do funcionamento do arrefecimento por radiação noturna durante o dia (à esquerda) e durante a noite (à direita) [44]	55
Figura 3.33 - Esquema do funcionamento do arrefecimento geotérmico [44]	56
Figura 4.1 – Planta do Piso 0 da Moradia Portas do Sol	59
Figura 4.2 – Mapa dos níveis NUTS II (esquerda) e NUTS III (direita) com localização da região Norte e sub-região do Ave referente ao edifício em estudo (adaptado [47])	60
Figura 4.3 – Organograma da estratégia adotada para o caso de estudo	62
Figura 4.4 - Visualização dos dados climáticos para Vila Nova de Famalicão, com uma altitude de 98m, através do software Climate Consultant.....	63
Figura 4.5 – Critérios métricos definidos pelo modelo “ASHRAE Standard 55 and Current Handbook of Fundamentals Comfort Model”	64
Figura 4.6 – Média Horária: Temperatura de Bolbo Seco, Temperatura de Bolbo Húmido, Radiação Global Horizontal, Radiação Direta e Radiação Difusa.....	65
Figura 4.7 – Ângulos em planta à esquerda (a, b) e em corte à direita (c)	65

Figura 4.8 - Representação da Proteção solar entre 21 de Junho e 21 de Dezembro (Verão e Outono)	66
Figura 4.9 - Representação da Proteção solar entre 21 de Dezembro e 21 de Junho (Inverno e Primavera)	66
Figura 4.10 - Roda dos ventos para Vila Nova de Famalicão, definida anualmente	67
Figura 4.11 - Gráfico Psicrométrico para Vila Nova de Famalicão, com uma altitude de 98m, com “ASHRAE Standard 55 and Current Handbook of Fundamentals Comfort Model” e com as melhores estratégias sugeridas pelo software	67
Figura 4.12 - Janela “Environmental Conditions Library”	68
Figura 4.13 – Janela “Glass Library”	69
Figura 4.14 – Janela “Gao Library”	69
Figura 4.15 – Janela “Glazing System Library”	70
Figura 4.16 – Janela “Frame Library”	70
Figura 4.17 – Janela “Divider Library”	70
Figura 4.18 – Janela “Window Library”	71
Figura 4.19 - Aplicação “CLIMAS-SCE” para o Município de Vila Nova de Famalicão e Altitude 98 m	74
Figura 4.20 - Design Builder - janela de novo projeto	74
Figura 4.21 – Design Builder - Modelo geométrico do projeto referente ao caso de estudo, moradia Portas do Sol	75
Figura 4.22 – Design Builder - janela de seleção do tipo de atividade	76
Figura 4.23 – Design Builder - janela de caracterização construtiva para os elementos da envolvente opaca	76
Figura 4.24 - Design Builder - janela de edição da caracterização construtiva para o exemplo de uma parede exterior	77
Figura 4.25 - Design Builder - janela de selecção do tipo de vão envidraçado	78
Figura 4.26 - Design Builder - janela de seleção do modo de iluminação de uma determinada zona	78
Figura 4.27 - Design Builder - janela de seleção de sistemas AVAC	79
Figura 4.28 – Sala de estar/jantar: temperatura do ar no interior, temperatura de bolbo seco, temperatura máxima (25°C) e mínima (18°C) de conforto	81
Figura 4.29 – Sala de estar/jantar: temperatura de bolbo seco, temperatura interior, temperatura radiante, temperatura operativa, temperatura máxima (25°C) e mínima (18°C) de conforto – para o dia 23 de Agosto	81
Figura 4.30 – Sala de estar/jantar: Intervalos de temperaturas para as 24 horas do dia - 23 de Agosto	82
Figura 4.31 - Sala de estar/jantar: temperatura de bolbo seco, temperatura interior, temperatura radiante, temperatura operativa, temperatura máxima (25°C) e mínima (18°C) de conforto – para o dia 27 de Janeiro	82
Figura 4.32 – Sala de estar/jantar: Intervalos de temperaturas para as 24 horas do dia - 27 de Janeiro	82
Figura 4.33 – Sala de estar/jantar: percentagem de horas em que a temperatura (°C) no interior do compartimento se situa em diferentes intervalos de temperatura, para todos os meses do ano	83
Figura 4.34 – Sala de estar/jantar: percentagem de horas em que a temperatura (°C) no interior do compartimento se situa em diferentes intervalos de temperatura, para todo o ano	84
Figura 4.35 – Cozinha: temperatura do ar no interior, temperatura de bolbo seco, temperatura máxima (25°C) e mínima (18°C) de conforto	85
Figura 4.36 – Cozinha: temperatura de bolbo seco, temperatura interior, temperatura radiante, temperatura operativa, temperatura máxima (25°C) e mínima (18°C) de conforto – para o dia 23 de Agosto	85
Figura 4.37 – Cozinha: Intervalos de temperaturas para as 24 horas do dia - 23 de Agosto	86

Figura 4.38 - Cozinha: temperatura de bolbo seco, temperatura interior, temperatura radiante, temperatura operativa, temperatura máxima (25°C) e mínima (18°C) de conforto – para o dia 27 de Janeiro	86
Figura 4.39 – Cozinha: Intervalos de temperaturas para as 24 horas do dia - 27 de Janeiro	86
Figura 4.40 – Cozinha: percentagem de horas em que a temperatura (°C) no interior do compartimento se situa em diferentes intervalos de temperatura, para todos os meses do ano	87
Figura 4.41 – Cozinha: percentagem de horas em que a temperatura (°C) no interior do compartimento se situa em diferentes intervalos de temperatura, para todo o ano	88
Figura 4.42 – Quarto 1: temperatura do ar no interior, temperatura de bolbo seco, temperatura máxima (25°C) e mínima (18°C) de conforto	89
Figura 4.43 – Quarto 1: temperatura de bolbo seco, temperatura interior, temperatura radiante, temperatura operativa, temperatura máxima (25°C) e mínima (18°C) de conforto – para o dia 23 de Agosto	89
Figura 4.44 – Quarto 1: Intervalos de temperaturas para as 24 horas do dia - 23 de Agosto	90
Figura 4.45 - Quarto 1: temperatura de bolbo seco, temperatura interior, temperatura radiante, temperatura operativa, temperatura máxima (25°C) e mínima (18°C) de conforto – para o dia 27 de Janeiro	90
Figura 4.46 – Quarto 1: Intervalos de temperaturas para as 24 horas do dia - 27 de Janeiro	90
Figura 4.47 – Quarto 1: percentagem de horas em que a temperatura (°C) no interior do compartimento se situa em diferentes intervalos de temperatura, para todos os meses do ano	91
Figura 4.48 – Quarto 1: percentagem de horas em que a temperatura (°C) no interior do compartimento se situa em diferentes intervalos de temperatura, para todo o ano	91
Figura 4.49 – Instalação Sanitária (Quarto 1): temperatura do ar no interior, temperatura de bolbo seco, temperatura máxima (25°C) e mínima (18°C) de conforto	93
Figura 4.50 – Instalação Sanitária (Quarto 1): temperatura de bolbo seco, temperatura interior, temperatura radiante, temperatura operativa, temperatura máxima (25°C) e mínima (18°C) de conforto – para o dia 23 de Agosto	93
Figura 4.51 – Instalação Sanitária (Quarto 1): Intervalos de temperaturas para as 24 horas do dia - 23 de Agosto	93
Figura 4.52 - Instalação Sanitária (Quarto 1): temperatura de bolbo seco, temperatura interior, temperatura radiante, temperatura operativa, temperatura máxima (25°C) e mínima (18°C) de conforto – para o dia 27 de Janeiro	94
Figura 4.53 – Instalação Sanitária (Quarto 1): Intervalos de temperaturas para as 24 horas do dia - 27 de Janeiro	94
Figura 4.54 – Instalação Sanitária (Quarto 1): percentagem de horas em que a temperatura (°C) no interior do compartimento se situa em diferentes intervalos de temperatura, para todos os meses do ano	95
Figura 4.55 – Instalação Sanitária (Quarto 1): percentagem de horas em que a temperatura (°C) no interior do compartimento se situa em diferentes intervalos de temperatura, para todo o ano	95
Figura 4.56 – Instalação Sanitária (zona de entrada): temperatura do ar no interior, temperatura de bolbo seco, temperatura máxima (25°C) e mínima (18°C) de conforto	96
Figura 4.57 – Instalação Sanitária (zona de entrada): temperatura de bolbo seco, temperatura interior, temperatura radiante, temperatura operativa, temperatura máxima (25°C) e mínima (18°C) de conforto – para o dia 23 de Agosto	97
Figura 4.58 – Instalação Sanitária (zona de entrada): Intervalos de temperaturas para as 24 horas do dia - 23 de Agosto	97
Figura 4.59 - Instalação Sanitária (zona de entrada): temperatura de bolbo seco, temperatura interior, temperatura radiante, temperatura operativa, temperatura máxima (25°C) e mínima (18°C) de conforto – para o dia 27 de Janeiro	97

Figura 4.60 – Instalação Sanitária (zona de entrada): Intervalos de temperaturas para as 24 horas do dia - 27 de Janeiro.....	98
Figura 4.61 – Instalação Sanitária (zona de entrada): percentagem de horas em que a temperatura (°C) no interior do compartimento se situa em diferentes intervalos de temperatura, para todos os meses do ano.....	98
Figura 4.62 – Instalação Sanitária (zona de entrada): percentagem de horas em que a temperatura (°C) no interior do compartimento se situa em diferentes intervalos de temperatura, para todo o ano	99
Figura 4.63 – Edifício: balanço térmico de Verão em horário diurno.....	102
Figura 4.64 – Edifício: balanço térmico de Verão em horário noturno.....	102
Figura 4.65 – Edifício: balanço térmico de Inverno em horário diurno	103
Figura 4.66 – Edifício: balanço térmico de Inverno em horário noturno	103
Figura 4.67 – Edifício: balanço térmico anual em horário diurno.....	104
Figura 4.68 – Edifício: balanço térmico anual em horário noturno	104
Figura 4.69 – Edifício: balanço térmico anual em horário diurno + noturno	105
Figura 4.70 – Sala de estar/jantar: temperatura do ar no interior, temperatura de bolbo seco, temperatura máxima (25°C) e mínima (18°C) de conforto	106
Figura 4.71 – Sala de estar/jantar: percentagem de horas em que a temperatura (°C) no interior do compartimento se situa em diferentes intervalos de temperatura, para todos os meses do ano	106
Figura 4.72 – Sala de estar/jantar: percentagem de horas em que a temperatura (°C) no interior do compartimento se situa em diferentes intervalos de temperatura, para todo o ano.....	107
Figura 4.73 – Cozinha: temperatura do ar no interior, temperatura de bolbo seco, temperatura máxima (25°C) e mínima (18°C) de conforto	108
Figura 4.74 – Cozinha: percentagem de horas em que a temperatura (°C) no interior do compartimento se situa em diferentes intervalos de temperatura, para todos os meses do ano	109
Figura 4.75 – Cozinha: percentagem de horas em que a temperatura (°C) no interior do compartimento se situa em diferentes intervalos de temperatura, para todo o ano.....	110
Figura 4.76 – Quarto 1: temperatura do ar no interior, temperatura de bolbo seco, temperatura máxima (25°C) e mínima (18°C) de conforto	111
Figura 4.77 – Quarto 1: percentagem de horas em que a temperatura (°C) no interior do compartimento se situa em diferentes intervalos de temperatura, para todos os meses do ano	111
Figura 4.78 – Quarto 1: percentagem de horas em que a temperatura (°C) no interior do compartimento se situa em diferentes intervalos de temperatura, para todo o ano.....	112
Figura 4.79 – Instalação Sanitária (zona de entrada): temperatura do ar no interior, temperatura de bolbo seco, temperatura máxima (25°C) e mínima (18°C) de conforto	114
Figura 4.80 – Instalação Sanitária (zona de entrada): percentagem de horas em que a temperatura (°C) no interior do compartimento se situa em diferentes intervalos de temperatura, para todos os meses do ano.....	114
Figura 4.81 – Instalação Sanitária (zona de entrada): percentagem de horas em que a temperatura (°C) no interior do compartimento se situa em diferentes intervalos de temperatura, para todo o ano	115
Figura 4.82 – Sala de estar/jantar: temperatura do ar no interior, temperatura de bolbo seco, temperatura máxima (25°C) e mínima (18°C) de conforto	116
Figura 4.83 – Sala de estar/jantar: percentagem de horas em que a temperatura (°C) no interior do compartimento se situa em diferentes intervalos de temperatura, para todos os meses do ano	117
Figura 4.84 – Sala de estar/jantar: percentagem de horas em que a temperatura (°C) no interior do compartimento se situa em diferentes intervalos de temperatura, para todo o ano.....	118
Figura 4.85 – Cozinha: temperatura do ar no interior, temperatura de bolbo seco, temperatura máxima (25°C) e mínima (18°C) de conforto	119
Figura 4.86 – Cozinha: percentagem de horas em que a temperatura (°C) no interior do compartimento se situa em diferentes intervalos de temperatura, para todos os meses do ano	119

Figura 4.87 – Cozinha: percentagem de horas em que a temperatura (°C) no interior do compartimento se situa em diferentes intervalos de temperatura, para todo o ano	120
Figura 4.88 – Temperatura da superfície exterior e interior da parede de armazenamento térmico 1, para o dia 27 de Janeiro	123
Figura 4.89 – Temperatura da superfície exterior e interior da parede de armazenamento térmico 1, para o dia 23 de Agosto.....	123
Figura 4.90 – Sala de estar/jantar: temperatura do ar no interior, temperatura de bolbo seco, temperatura máxima (25°C) e mínima (18°C) de conforto	124
Figura 4.91 – Sala de estar/jantar: percentagem de horas em que a temperatura (°C) no interior do compartimento se situa em diferentes intervalos de temperatura, para todos os meses do ano	124
Figura 4.92 – Sala de estar/jantar: percentagem de horas em que a temperatura (°C) no interior do compartimento se situa em diferentes intervalos de temperatura, para todo o ano	125
Figura 4.93 – Ganhos ou perdas de calor do compartimento sala de estar/jantar, através da parede trombe ventilada 1 (por condução).....	127
Figura 4.94 – Ganhos ou perdas de calor do compartimento sala de jantar/estar, através da parede trombe ventilada 1 (por convecção)	127
Figura 4.95 – Temperatura da superfície exterior e interior da parede acumuladora 1, para o dia 27 de Janeiro	128
Figura 4.96 – Temperatura da superfície exterior e interior da parede acumuladora 1, para o dia 23 de Agosto.....	129
Figura 4.97 – Sala de estar/jantar: temperatura do ar no interior, temperatura de bolbo seco, temperatura máxima (25°C) e mínima (18°C) de conforto	129
Figura 4.98 – Sala de estar/jantar: percentagem de horas em que a temperatura (°C) no interior do compartimento se situa em diferentes intervalos de temperatura, para todos os meses do ano	130
Figura 4.99 – Sala de estar/jantar: percentagem de horas em que a temperatura (°C) no interior do compartimento se situa em diferentes intervalos de temperatura, para todo o ano	130
Figura 4.100 – Ganhos ou perdas de calor do compartimento sala de estar/jantar, através da parede trombe não ventilada 1 (por condução).....	132
Figura 4.101 – Temperatura da superfície exterior e interior da parede acumuladora 3, para o dia 27 de Janeiro	134
Figura 4.102 – Temperatura da superfície exterior e interior da parede acumuladora 3, para o dia 23 de Agosto.....	134
Figura 4.103 – Quarto 1: temperatura do ar no interior, temperatura de bolbo seco, temperatura máxima (25°C) e mínima (18°C) de conforto	135
Figura 4.104 – Quarto 1: percentagem de horas em que a temperatura (°C) no interior do compartimento se situa em diferentes intervalos de temperatura, para todos os meses do ano	135
Figura 4.105 – Quarto 1: percentagem de horas em que a temperatura (°C) no interior do compartimento se situa em diferentes intervalos de temperatura, para todo o ano	136
Figura 4.106 – Ganhos ou perdas de calor do compartimento quarto 1, através da parede trombe ventilada 3 (por condução)	137
Figura 4.107 – Ganhos ou perdas de calor do compartimento quarto 1, através da parede trombe ventilada 3 (por convecção)	137
Figura 4.108 – Temperatura da superfície exterior e interior da parede de armazenamento térmico 3, para o dia 27 de Janeiro	138
Figura 4.109 – Temperatura da superfície exterior e interior da parede de armazenamento térmico 3, para o dia 23 de Agosto.....	139
Figura 4.110 – Quarto 1: temperatura do ar no interior, temperatura de bolbo seco, temperatura máxima (25°C) e mínima (18°C) de conforto	139
Figura 4.111 – Quarto 1: percentagem de horas em que a temperatura (°C) no interior do compartimento se situa em diferentes intervalos de temperatura, para todos os meses do ano	140

Figura 4.112 – Quarto 1: percentagem de horas em que a temperatura (°C) no interior do compartimento se situa em diferentes intervalos de temperatura, para todo o ano.....	140
Figura 4.113 – Ganhos ou perdas de calor do compartimento quarto 1, através da parede trombe não ventilada 3 (por condução).....	142
Figura 4.114 – Temperatura da superfície exterior e interior da parede acumuladora em betão (anexa ao quarto 1), para o dia 27 de Janeiro	143
Figura 4.115 – Temperatura da superfície exterior e interior da parede acumuladora em betão (anexa ao quarto 1), para o dia 23 de Agosto.....	144
Figura 4.116 – Quarto 1: temperatura do ar no interior, temperatura de bolbo seco, temperatura máxima (25°C) e mínima (18°C) de conforto	145
Figura 4.117 – Quarto 1: percentagem de horas em que a temperatura (°C) no interior do compartimento se situa em diferentes intervalos de temperatura, para todos os meses do ano	145
Figura 4.118 – Quarto 1: percentagem de horas em que a temperatura (°C) no interior do compartimento se situa em diferentes intervalos de temperatura, para todo o ano.....	146
Figura 4.119 – Ganhos ou perdas de calor do compartimento quarto 1, através da parede trombe não ventilada 4 (por condução).....	147
Figura 4.120 – Instalação Sanitária (Quarto 1): temperatura do ar no interior, temperatura de bolbo seco, temperatura máxima (25°C) e mínima (18°C) de conforto	147
Figura 4.121 – Instalação Sanitária (Quarto 1): percentagem de horas em que a temperatura (°C) no interior do compartimento se situa em diferentes intervalos de temperatura, para todos os meses do ano.....	148
Figura 4.122 – Instalação Sanitária (Quarto 1): percentagem de horas em que a temperatura (°C) no interior do compartimento se situa em diferentes intervalos de temperatura, para todo o ano.....	148
Figura 4.123 – Ganhos ou perdas de calor do compartimento instalação sanitária (quarto 1), através da parede trombe não ventilada 4 (por condução)	150
Figura 4.124 – Sala de estar/jantar: temperatura do ar no interior, temperatura de bolbo seco, temperatura máxima (25°C) e mínima (18°C) de conforto	151
Figura 4.125 – Sala de estar/jantar: percentagem de horas em que a temperatura (°C) no interior do compartimento se situa em diferentes intervalos de temperatura, para todos os meses do ano	151
Figura 4.126 – Sala de estar/jantar: percentagem de horas em que a temperatura (°C) no interior do compartimento se situa em diferentes intervalos de temperatura, para todo o ano.....	152
Figura 4.127 – Cozinha: temperatura do ar no interior, temperatura de bolbo seco, temperatura máxima (25°C) e mínima (18°C) de conforto	154
Figura 4.128 – Cozinha: percentagem de horas em que a temperatura (°C) no interior do compartimento se situa em diferentes intervalos de temperatura, para todos os meses do ano	154
Figura 4.129 – Cozinha: percentagem de horas em que a temperatura (°C) no interior do compartimento se situa em diferentes intervalos de temperatura, para todo o ano.....	155
Figura 4.130 – Quarto 1: temperatura do ar no interior, temperatura de bolbo seco, temperatura máxima (25°C) e mínima (18°C) de conforto	156
Figura 4.131 – Quarto 1: percentagem de horas em que a temperatura (°C) no interior do compartimento se situa em diferentes intervalos de temperatura, para todos os meses do ano	157
Figura 4.132 – Quarto 1: percentagem de horas em que a temperatura (°C) no interior do compartimento se situa em diferentes intervalos de temperatura, para todo o ano.....	158
Figura 4.133 – Instalação Sanitária (Quarto 1): temperatura do ar no interior, temperatura de bolbo seco, temperatura máxima (25°C) e mínima (18°C) de conforto	159
Figura 4.134 – Instalação Sanitária (Quarto 1): percentagem de horas em que a temperatura (°C) no interior do compartimento se situa em diferentes intervalos de temperatura, para todos os meses do ano.....	160
Figura 4.135 – Instalação Sanitária (Quarto 1): percentagem de horas em que a temperatura (°C) no interior do compartimento se situa em diferentes intervalos de temperatura, para todo o ano.....	161

Figura 4.136 – Instalação Sanitária (zona de entrada): temperatura do ar no interior, temperatura de bolbo seco, temperatura máxima (25°C) e mínima (18°C) de conforto.....	162
Figura 4.137 – Instalação Sanitária (zona de entrada): percentagem de horas em que a temperatura (°C) no interior do compartimento se situa em diferentes intervalos de temperatura, para todos os meses do ano	162
Figura 4.138 – Instalação Sanitária (zona de entrada): percentagem de horas em que a temperatura (°C) no interior do compartimento se situa em diferentes intervalos de temperatura, para todo o ano	163
Figura 4.139 – Edifício: balanço térmico de Verão em horário diurno	166
Figura 4.140 – Edifício: balanço térmico de Verão em horário noturno	166
Figura 4.141 – Edifício: balanço térmico de Inverno em horário diurno.....	167
Figura 4.142 – Edifício: balanço térmico de Inverno em horário noturno	168
Figura 4.143 – Edifício: balanço térmico anual em horário diurno	168
Figura 4.144 – Edifício: balanço térmico anual em horário noturno.....	169
Figura 4.145 – Edifício: balanço térmico anual em horário diurno + noturno	170
Figura 4.146 – Necessidades de arrefecimento (Wh/m ²) do edifício (à esquerda) e Necessidades de aquecimento (Wh/m ²) do edifício (à direita)	170
Figura 5.1 - Percentagem de horas em que a temperatura (°C) no interior dos compartimentos se situa no intervalo de conforto (18°C a 25°C) , para todos os meses do ano	173

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 2.1 - Critérios para a determinação da zona climática de inverno Critério [18]	13
Quadro 2.2 - Critérios para a determinação da zona climática de verão Critério [18]	13
Quadro 2.3 – Classificação de alguns isolamentos térmicos [28]	25
Quadro 2.4 – Coeficiente de Absorção da radiação solar, a [30]	26
Quadro 2.5 – Coeficientes de transmissão térmica superficiais máximos admissíveis para elementos opacos [31]	27
Quadro 2.6 – Exigências do fator solar máximo admissível [35]	31
Quadro 2.7 – Coeficientes de transmissão térmica superficiais máximos admissíveis para os vãos envidraçados em Portugal Continental e Regiões Autónomas [31]	32
Quadro 3.1 - Classificação dos sistemas de aquecimento passivo [3]	34
Quadro 3.2 - Classificação dos sistemas de arrefecimento passivo [3]	34
Quadro 3.3 - Dimensionamento recomendado para envidraçados [26]	36
Quadro 3.4 - Massa volúmica, calor específico e capacidade calorífica de diferentes materiais [38] ..	40
Quadro 3.5 – Área de parede de captação em função da superfície do compartimento e das temperaturas médias exteriores na estação fria [26]	41
Quadro 4.1 – Simulação de vãos envidraçados no Software WINDOW7.4	72
Quadro 4.2 – Coeficiente de condutibilidade térmica, Massa Volúmica e Calor Específico do betão	122
Quadro 4.3– Caracterização construtiva das paredes trombe ventiladas 1 e 2	123
Quadro 4.4– Caracterização construtiva das paredes trombe não ventiladas 1 e 2	128
Quadro 4.5 – Coeficiente de condutibilidade térmica, Massa Volúmica e Calor Específico do betão	133
Quadro 4.6– Caracterização construtiva da parede trombe ventilada 3	133
Quadro 4.7– Caracterização construtiva da parede trombe não ventilada 3	138
Quadro 4.8 – Coeficiente de condutibilidade térmica, Massa Volúmica e Calor Específico do betão	142
Quadro 4.9 – Caracterização construtiva da parede trombe não ventilada 4.	143
Quadro 5.1 – Estratégia global de projeto [49]	174

SÍMBOLOS, ACRÓNIMOS E ABREVIATURAS

AVAC - Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado

REH - Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação

ASHRAE - American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers

INETI - Instituto Nacional de Engenharia, Tecnologia e Inovação

DGE - Direção Geral de Engenharia

LNEG - Laboratório Nacional de Energia e Geologia

SCE - Sistema Nacional de Certificação de Edifícios

MIT - Massachusetts Institute of Technology

NUTS - Nomenclatura das Unidades Territoriais para Fins Estatísticos

ac/h - Air changes per hour

COP - Coefficient Of Performance

DHW - Domestic Hot Water

GD - Graus dia

θ_{ext} - Temperatura exterior média [$^{\circ}\text{C}$]

$\theta_{ext,v}$ - temperatura média exterior correspondente à estação convencional de arrefecimento [$^{\circ}\text{C}$]

Rph - Número de renovações horárias [h^{-1}]

Q - Caudal volúmico de ventilação [$\text{m}^3.\text{h}^{-1}$]

V - Volume efetivo do espaço [m^3]

h_e - Coeficiente à condutância térmica superficial exterior

a - Coeficiente de Absorção da radiação solar

Umáx - Coeficientes de transmissão térmica superficiais máximos admissíveis para vãos opacos

I - Energia solar global incidente (radiação direta + difusa)

T - Transmissão energética global (Transmitida diretamente)

R - Reflexão energética global (Parcela Refletida)

A - Absorção energética global (Parcela Absorvida)

A_e - Fração da energia absorvida emitida para o exterior

A_i - Fração da energia absorvida emitida para o interior

T_v - Coeficiente de transmissão luminosa

R_v - Coeficiente de reflexão luminosa

CSE - Coeficiente de Seletividade Espectral

g_{\perp} - Fator solar

I - Radiação solar incidente

T - Transmissão energética global (Transmitida diretamente)

Ai - Fração da energia absorvida emitida para o interior

R - Resistência térmica

U - Coeficiente de transmissão térmica

Ac - Área visível de caixilharia [m²]

Uc - Coeficiente de transmissão térmica do caixilho [W/(m².°C)]

Av - Área visível de vidro [m²]

Uv - Coeficiente de transmissão térmica do vidro [W/(m².°C)]

Lv - Perímetro de vidro visível [m];

Ψ - Coeficiente de transmissão térmica linear [W/(m.°C)]

FS - Fator solar

Uw - Coeficientes de transmissão térmica superficiais para os vãos envidraçados [W/(m².°C)]

Uwdn - Coeficiente de transmissão térmica médio dia-noite do vão envidraçado [W/(m².°C)]

K - Amplitudes térmicas

PT - Parede trombe

PVC - Policloreto de polivinila

Esp. - Espessura

Sim - Simulação

1

INTRODUÇÃO

1.1. ENQUADRAMENTO GERAL

Situado no sudoeste da Europa, Portugal é um país com privilégios, afagado pelo sol e pelo mar e de recursos naturais que nos projetam num mundo cada vez mais competitivo. Nos últimos anos, a nossa ambição permitiu-nos alcançar um patamar de excelência naquele que é hoje o desígnio do século XXI: a construção de um futuro sustentável. A energia assume aqui um papel decisivo e um indicador de progresso indispensável para conseguirmos superar as dificuldades atuais. A Natureza colocou à nossa disposição diversas fontes de energia, algumas delas de origem renovável, como o Sol, o Vento, a Água, o Calor da terra e a Biomassa. Mas o aproveitamento e gestão dos recursos existentes ainda não permite a independência energética do nosso país. Tendo por base o compromisso assumido pelos países da UE no âmbito do Protocolo de Quioto, os Estados Membros mobilizaram-se no sentido de adotar modelos energéticos que permitam alcançar um melhor desempenho no setor e Portugal não é exceção [1].

A política energética nacional assenta em dois pilares fundamentais, a racionalidade económica e a sustentabilidade, preconizando para isso medidas de eficiência energética, a utilização de energia proveniente de fontes endógenas renováveis e a necessidade de reduzir custos. Pretende-se reduzir significativamente as emissões de gases com efeito de estufa, de forma sustentável; reforçar a diversificação das fontes de energia primária, contribuindo para aumentar estruturalmente a segurança de abastecimento do País; aumentar a eficiência energética da economia, em particular no setor Estado, contribuindo para a redução da despesa pública e o uso eficiente dos recursos; contribuir para o aumento da competitividade da economia, através da redução dos consumos e custos associados ao funcionamento das empresas e à gestão da economia doméstica, libertando recursos para dinamizar a procura interna e novos investimentos [2].

Sendo os edifícios em Portugal responsáveis pelo consumo de 30% da energia primária e 62% dos consumos de eletricidade, a procura de uma construção mais sustentável é de grande interesse para todos, podendo a inclusão de sistemas passivos ter uma contribuição considerável na redução dos gastos energéticos. Este tipo de sistemas consistem em tecnologias construtivas onde as trocas de energia térmica se fazem por meios naturais, não havendo gastos energéticos para a captação e transmissão da energia calorífica [3]. Estes compreendem várias medidas e técnicas de aplicação prática que se classificam consoante a função a que se destinam, em aquecimento ou em arrefecimento.

Em Portugal, a inclusão destes sistemas advém dos anos 80, não tendo obtido muita adesão. Contudo, nos últimos anos devido ao aumento das preocupações com a eficiência energética e a emissão de CO₂, estes começaram a ganhar espaço na mentalidade dos projetistas.

1.2. PRINCIPAIS OBJETIVOS

O objetivo primordial da presente dissertação é o conhecimento dos vários sistemas solares passivos que poderão ser integrados em edifícios. Pretende-se, com a escolha de um caso de estudo, fazer uma avaliação do efeito da integração de alguns destes sistemas de modo a obter melhorias na qualidade térmica do edifício. Com recurso diversos softwares, pretende-se ter conhecimento de algumas variáveis do projeto. O software Climate Consultant 6.0 permitirá realizar um estudo referente ao clima da cidade onde o edifício está inserido, auxiliando também no dimensionamento dos elementos de proteção solar. O software Window 7.4, permitirá realizar um estudo referente aos vãos envidraçados, possibilitando através do conhecimento de algumas características (fator solar, coeficiente de transmissão luminosa e coeficiente de transmissão térmica), uma escolha adequada que permita melhorias relativas ao conforto no interior do edifício. Para a simulação dinâmica do edifício, irá recorrer-se ao software Design Builder V4.7.0.027. A estratégia adotada para a simulação dinâmica do edifício, passará inicialmente pela simulação do edifício real, ou seja, sem qualquer alteração do projeto de arquitetura, para posteriormente, após verificação de necessidades do edifício, implementar algumas estratégias com inclusão de sistemas solares passivos, de modo a obter resultados a nível de conforto satisfatórios, considerando para o efeito, um intervalo de conforto situado entre 18 °C (Inverno) e 25 ° (Verão).

1.3. ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

O trabalho desenvolvido encontra-se organizado em cinco capítulos, apresentando-se neste primeiro as considerações gerais, bem como o enquadramento, principais objetivos e organização do trabalho.

No capítulo 2 enquadra-se o conceito da Arquitetura Bioclimática, abordando também os sistemas solares passivos e sua evolução (quer no mundo, quer em Portugal), bem como aspetos relacionados com o desenho passivo.

No capítulo 3 efetua-se a classificação e descrição dos sistemas passivos existentes.

No capítulo 4 é apresentado o caso de estudo, os programas de simulação utilizados bem como as simulações e resultados obtidos.

Por último, no capítulo 5, são destacadas as principais conclusões do trabalho realizado e mencionadas possíveis considerações, a ter em conta futuramente, no desenvolvimento da investigação do tema aqui em estudo.

2 ARQUITETURA BIOCLIMÁTICA

2.1. O CONCEITO

A Arquitetura bioclimática consiste em projetar um edifício de acordo com as especificidades do clima e as características ambientais do local onde se insere, de forma a atingir a eficiência energética e o conforto ambiental interno, utilizando para isso, a energia que pode ser diretamente obtida das condições ambientais [4].

O objetivo primordial da Arquitetura Bioclimática centra-se no aproveitamento da luz e do calor provenientes da radiação solar incidente. O aproveitamento da luz solar, provoca uma redução do consumo de energia na iluminação, condicionando o projeto de arquitetura relativamente à orientação espacial, às dimensões de abertura das janelas e transparência na cobertura das mesmas. Refere-se a um tipo de Arquitetura que dá especial atenção aos aspetos de adaptação da construção ao clima do lugar onde se situa, conseguida essa adaptação por meios naturais.

Atualmente, torna-se possível adquirir conforto em edifícios, com recurso a meios mecânicos, no entanto, o objetivo da Arquitetura Bioclimática é adquirir esse mesmo conforto através do desenho dos edifícios, da escolha de materiais, e da utilização de sistemas com recurso a processos naturais, minimizando deste modo a utilização de outros sistemas com recurso a meios mecânicos que impliquem elevados consumos de energias poluentes. Esta opção tem benefícios para o ambiente e para a qualidade de vida dos utentes dos edifícios, passando a ter acesso ao conforto de forma menos onerosa. Procura-se otimizar o conforto no interior do edifício (conforto térmico, luminoso e acústico) utilizando apenas o desenho e os elementos arquitetónicos disponíveis.

Com as suas raízes no empirismo das regras de boas práticas dos nossos antepassados, a Arquitetura Bioclimática surgiu numa época, em que a não existência de tecnologias que pudessem responder às necessidades de climatização e de iluminação, obrigava a uma construção eficiente e inserida no clima circundante. Torna-se importante referir que nessa altura, os materiais utilizados eram os materiais locais, o que permitia uma diversificação e uma exploração limitada de cada tipo de material. Só, há relativamente poucos anos, a sensibilidade para esta questão se começou a perder, pelo aparecimento de sistemas mecânicos de controlo ambiental, assim como de vários tipos de vidros e materiais de construção avançados. O que poderia contribuir para uma melhoria do conforto veio, contrariamente, permitir demasiada liberdade aos projetistas, tornando os edifícios altamente dependentes de fontes de energia não renováveis, assim como, nos aspetos globais, demasiado independentes do local onde se constroem. Assim, o seu sucesso depende apenas da experiência, dos conhecimentos e da criatividade do seu projetista. No fundo, a Arquitetura Bioclimática é apenas um rótulo relativamente recente para classificar uma série de atitudes no processo de projeto.

2.2. O SOLAR PASSIVO E SUA EVOLUÇÃO

A estratégia do solar passivo referente à utilização da orientação solar como forma de obter ganhos solares no Inverno, enquanto se protege de ganhos os mesmos edifícios no Verão, remonta aos nossos antepassados. Os egípcios, gregos, romanos, persas entre outros povos serviram-se destes conceitos solares passivos para os atos de edificação. Grande parte da Arquitetura da antiguidade, baseada nos ensinamentos de Aristóteles, Xenofon e, 600 anos depois, Vitrúvio, recorria ao aproveitamento do Sol e do vento por forma a atenuar os extremos climáticos [3]. Contudo, estes não dispunham do vidro, privando-os assim dos recursos mais decisivos para a obtenção de ganhos solares passivos.

Com o declínio do Império Romano, o vidro passou por uma fase de pouco desenvolvimento, voltando à evidência no início da Idade Média. Embora que não muito claramente, durante a Idade Média o aspeto da iluminação natural, sobretudo nos edifícios religiosos-Catedrais Góticas, tenha sofrido algumas evoluções, a preocupação dos arquitetos em busca da luminosidade e desmaterialização das fachadas num ensaio de plenitude divina, legou-nos edifícios serenos e com magníficos jogos de luz.

Na Holanda e Inglaterra, a partir do século XVI, os jardins interiores, os alpendres, os pátios e as estufas, remeteram para um entendimento entre desenho e clima e para o despertar da sensibilidade na escolha da melhor orientação solar.

No início do século XIX, os projetistas de estufas combinavam massa térmica, vidro duplo, orientação, sistemas de sombreamento e isolamento. O mais conhecido foi o edifício de Joseph Paxton, o Palácio de Cristal da Grande Exposição de Londres, de 1851, pois demonstra a possibilidade de realização de grandes áreas de envidraçados cobertos, inaugurando uma era de grandes Pavilhões e Átrios envidraçados urbanos construídos na Europa e nos Estados Unidos [3].



Figura 2.1- O Palácio de Cristal de John Paxton na Grande Exposição de Londres [5]

Em 1880, em Salem, Massachusetts, surge o conceito relativo a fachada Sul envidraçada, com circulação de ar através do espaço compreendido entre o vidro e a parede. Em 1881, foi patenteado, por E. L. Morse, do Instituto Lowell, o conceito duma parede maciça de côr negra, com caixa-de-ar, e com um envidraçado (em forma de pequenas vidraças, dado que grandes panos de vidro não se produziam nesse tempo), e aberturas praticáveis através das quais o fluxo de ar pudesse ser regulado. Este conceito foi desenvolvido posteriormente, na casa experimental em Odeillo, no Sul de França, pelo engenheiro Felix Trombe e o arquiteto Jacques Michel, dando origem à denominada “Parede de Trombe”.



Figura 2.2 – Casa experimental, em Odeillo, no Sul de França [6]

Pouco antes da 2ª Guerra Mundial, as tecnologias solares passivas começaram a ser introduzidas na Arquitetura residencial. Entre os pioneiros encontravam-se os irmãos Keck de Chicago, responsáveis pelo “Solar Park” em Glenview (Ilinois), e pelo projeto de uma casa solar em Rockford. Estas dispunham de grandes áreas envidraçadas orientadas a Sul, para conseguir ganhos solares no Inverno, com palas para proteção das radiações de Verão. As coberturas planas eram adaptadas para ser cobertas no Verão por água a fim de minimizar os ganhos solares, no entanto a capacidade de absorver o calor do interior da habitação pela água, durante a noite, não era aparentemente contemplada [3].



Figura 2.3 – Casa Solar, em Rockford [7]

Após a 2ª Guerra Mundial, os sistemas de aquecimento solar passivo adquiriram crescente interesse em inúmeras zonas dos Estados Unidos e na Europa. Os sistemas ativos, eram o centro da investigação sobretudo pelo MIT, gerando pouco interesse nos sistemas passivos, mas o trabalho sobre envidraçado levado a cabo no laboratório ASHRAE em Cleveland, abriu caminho para os atuais procedimentos de cálculo de ganhos solares através dos envidraçados.

2.3. O SOLAR PASSIVO EM PORTUGAL

Portugal possui todas as condições para realizar uma prática construtiva sustentável no que concerne à implementação de sistemas solares passivos, pois detém o legado da arquitetura vernacular, assim como um clima privilegiado, temperado e ameno, com níveis ótimos de radiação solar. Em Portugal, o aproveitamento da energia solar nos edifícios é já prática de há muitos séculos, na construção tradicional, sendo visível em inúmeros edifícios. Se observarmos a arquitetura tradicional, conseguimos rapidamente encontrar e identificar, nas suas formas e materiais, os elementos de captação solar. As paredes com painéis pintados de negro ou em pedras mais escuras, surgem regularmente em toda a arquitetura vernácula portuguesa de Norte a Sul do país. Os sequeiros do Minho, orientados usualmente no quadrante entre Sul e Oeste por forma a captarem os ganhos de radiação nas horas de maior intensidade, são outro exemplo de uma arquitetura com aproveitamento solar passivo. As varandas

refletem também as preocupações térmicas que os antigos tinham com a conceção dos edifícios, uma vez que estas protegiam, no Inverno da chuva e no Verão da radiação solar, evitando o sobreaquecimento do espaço interior. As varandas envidraçadas são ainda outro exemplo de como a arquitetura de raiz tradicional contém em si elementos de captação passiva de energia solar. Estes elementos de construção, que se tornam envidraçados a partir do século XIX, aproveitam o efeito de estufa para aumentar o rendimento térmico das habitações. As casas do sul do país, caiadas de branco são também exemplo destes sistemas, aproveitando a boa refletividade desta cor e consequentemente a menor absorção de energia solar. As janelas são pequenas e quase sempre recuadas em relação às paredes de forma a estarem sombreadas no Verão.

É nos anos 80 que surgem as primeiras preocupações em Portugal, no sentido de incluir estratégias solares passivas nos edifícios.

A **Casa Termicamente Otimizada**, constitui um dos projetos pioneiros em Portugal na área da eficiência energética. Desenvolvido pela Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, pelo INETI e pela DGE em 1984. Nesta casa-laboratório a maior fachada exposta a Sul, à qual estão anexos todos os compartimentos com maior utilização, permite obter proveito dos ganhos solares de Inverno e o sombreamento no Verão mediante a implementação de palas de sombreamento. A elevação do terreno e a implementação de fachadas quase sem aberturas a Norte, permitiu restringir a Norte a ação dos ventos frios dominantes. Nas fachadas Este e a Oeste, foram minimizadas as aberturas, realizando o controlo solar mediante uso de sombreadores móveis (estores) que permitiram contribuição para o conforto de Verão. A ventilação transversal noturna é assegurada com a adequada colocação das aberturas e respetiva forma de abrir ('bandeiras'), intensificando assim a circulação do ar, em especial para o arrefecimento noturno na época estival. A implementação de paredes de Trombe na fachada sul, adquire aqui função de captação, armazenamento e distribuição do calor.

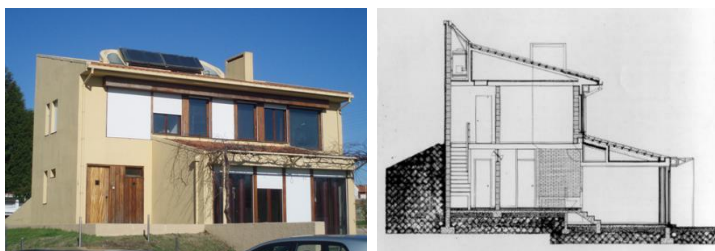


Figura 2.4 – Casa Termicamente Otimizada - fotografia (à esquerda) [8] e corte (à direita) [8]

Outro exemplo de arquitetura solar passiva de extrema importância, é a **Casa Solar Passiva de Vale Rosal** projetada pelo arquiteto Fausto Simões em 1986. Esta incorpora três sistemas solar-passivos, o ganho direto e as duas principais modalidades de ganho indireto: a estufa e a parede trombe não ventilada.

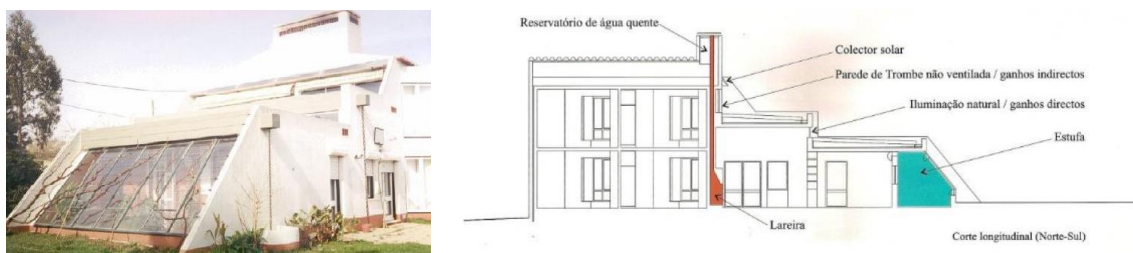


Figura 2.5 – Casa solar passiva de Vale Rosal - estufa a Sul no Inverno (à esquerda) [9] e Corte representativo da conjugação da parede trombe com a fuga da lareira (à direita) [9]

A **Casa Schäfer** constitui mais um exemplo da arquitetura solar passiva em Portugal; situada na Camacha, na Ilha de Porto Santo do arquipélago da Madeira, projetada pelo arquiteto Günter Ludewig e construída em 1988. Nesta casa foram implementados sistemas e técnicas que permitem ao edifício uma maior adaptação ao clima da ilha durante todo o ano. A fachada principal na casa Schäfer está orientada a sul de modo a aproveitar da melhor maneira a radiação solar. Esta moradia é também dotada de claraboias direcionadas a sul de modo a melhor promover ganhos solares durante o Inverno e ao mesmo tempo providenciando a entrada de luz natural para o interior. A fachada Norte encontra-se parcialmente enterrada de modo a proteger a moradia dos ventos frios provenientes de Norte. A restrição dos ganhos solares durante o Verão é feita através de beirados salientes e de uma pala na claraboia, estes que tiram partido dos grandes ângulos de incidência entre o sol e os envidraçados.

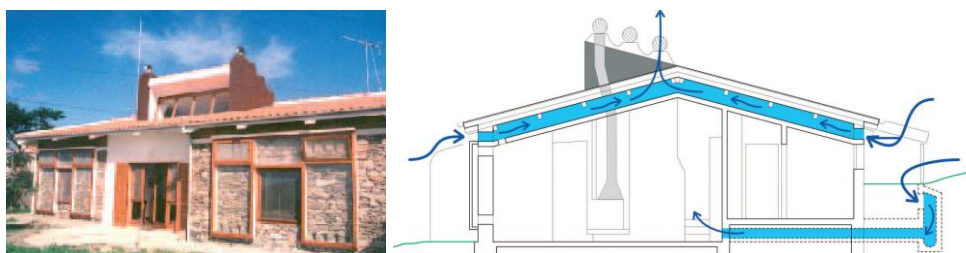


Figura 2.6 – Casa Schäfer.- Fotografia do alçado Sul (à esquerda) [10] e corte representativo do esquema de ventilação (à direita) [10]

A moradia Schäfer possui sistemas integrados para a promoção da Ventilação Natural. No Verão a entrada de ar no interior da habitação é feita através de um sistema de 5 tubos enterrados no solo nos quais as entradas de ar estão posicionadas na parte Norte da moradia e as saídas situam-se no interior desta. A evacuação do ar interior é feita através de dois sistemas distintos, sendo estas as paredes de trombe e as chaminés solares, sistemas estes que tiram partido da convecção natural. No Inverno a entrada de ar para ventilação no interior da moradia é feita exclusivamente através das paredes de trombe, estas que aquecem o ar proveniente do exterior.

O **edifício Torre Verde**, foi construído em 1998 e localiza-se na zona Norte do Parque das Nações, em Lisboa. Trata-se de um edifício habitacional, desenvolvido pela Arquiteta Livia Tirone. Com um conjunto de 41 apartamentos, distribuídos por 12 pisos, a Torre Verde representa, sem dúvida, um passo importante para a valorização do conceito de racionalização do consumo de energia em edifícios.



Figura 2.7 – Edifício Torre Verde – Fotografia [11]

Em relação ao desenho passivo, otimizaram-se os ganhos solares, através de uma especial atenção ao dimensionamento dos envidraçados (ganho direto) e da instalação de paredes de armazenamento térmico a Sul (ganho indireto). De modo a restringir os ganhos excessivos no Verão, foram adotados sistemas de sombreamento nos envidraçados: varandas e estores exteriores de lâminas.

As **Casas de Janas**, localizadas em Sintra e projetadas pelo Arquiteto João Santa Rita e pela Arquiteta Filipa Mourão, foram construídas entre 1998 e 2003, e constituem mais um exemplo da arquitetura solar passiva em Portugal. As Moradias de Janas são constituídas por um conjunto de três moradias unifamiliares geminadas.



Figura 2.8 - Moradias de Janas – Fotografia de alçado Sul [12]

As estratégias e técnicas passivas utilizadas são o sistema de ganho direto pelos envidraçados orientados a Sul, palas de sombreamento solar e toldos exteriores para controlar a insolação excessiva no Verão, e a ventilação natural cruzada para arrefecimento dos espaços interiores no Verão.

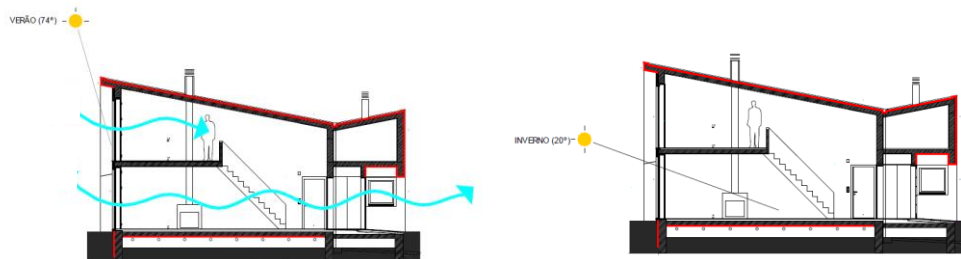


Figura 2.9 – Corte representativo - estratégia de Verão (à esquerda) e estratégia no Inverno (à direita) [13]

A **casa em Romeirão**, localizada na pendente norte de um vale, no Romeirão, próximo da praia de Ericeira, é um projeto dos arquitetos José Mateus e Nuno Mateus, construído em 2003. Dos meios passivos utilizados nesta moradia, destacam-se os ganhos solares (envidraçados), a proteção contra os ventos dominantes (acompanha o declive do terreno), a inércia térmica, a construção parcialmente enterrada (aquecimento e arrefecimento pelo solo), o arrefecimento evaporativo, os elementos de sombreamento (construtivos e vegetação) e a iluminação e ventilação natural (envidraçados, pátios).



Figura 2.10 – Casa em Romeirão – Fotografia de alçado Sul (à esquerda) [14] e de cobertura (à direita) [14]

No extremo norte a casa encontra-se enterrada, mostrando-se a cobertura como a continuidade do terreno, e possibilitando o usufruto das características de regulador térmico do solo, favorecendo o aquecimento no Inverno, e o arrefecimento no verão. Os pátios presentes no volume auxiliam na distribuição de funções, e ainda, a melhorar a ventilação e iluminação natural. As aberturas são orientadas para Sul, de forma a orientar as vistas para o vale, possibilitando ganhos térmicos consideráveis durante a estação de aquecimento. Igualmente, a implantação abrigada do edifício permite que este seja protegido dos ventos, contribuindo, assim, para a minimização das perdas térmicas. Estes fatores associados à inércia térmica das paredes e à função de regulador térmico do solo, conferem ao espaço interior um ambiente confortável. Na estação de arrefecimento, a presença de vegetação e de massas de água, nomeadamente a ribeira ao fundo do vale e um tanque próximo do edifício, originam um arrefecimento das temperaturas por evaporação. Para evitar o sobreaquecimento neste período do ano, os envidraçados direcionados a Sul encontram-se protegidos por elementos de sombreamento, tanto externos como internos.

As **Casas na Areia**, são um projeto de recuperação com fins turísticos, de quatro casas de pescadores, concretizado pelo arquiteto Manuel Aires Mateus em 2010. Dos meios passivos utilizados neste conjunto de casas, destacam-se o controlo dos ganhos solares (aberturas reduzidas, paredes brancas), isolamento das paredes e cobertura, arrefecimento evaporativo (presença de uma grande massa de água, o mar), minimização das perdas (isolamento da envolvente), ganhos solares a Sul, utilização de materiais vernaculares (alvenaria, madeira, caniço, colmo, palha e areia), contextualizada na tradição local.



Figura 2.11 – Casas na Areia – Fotografias [15]

O conforto térmico é assegurado pelo uso de materiais naturais, que detêm excelentes propriedades térmicas e acústicas, pelas aberturas controladas orientadas a Sul, e também pelo correto isolamento de toda a envolvente. A presença do mar permite um arrefecimento evaporativo, o que, aliado à ventilação natural, possibilita a manutenção do conforto do espaço interior. As perdas térmicas são equitativamente restringidas através dos limitados envidraçados e isolamento térmico.

Após esta breve exposição, de alguns exemplos de aplicação em Portugal das tecnologias solares passivas, é notório que a arquitetura moderna, embora ainda de forma muito pontual, já denota alguma preocupação com a integração destes sistemas. É de esperar que, num futuro próximo, e com o conhecimento mais aprofundado por parte dos projetistas sobre estas questões, se iniciem projetos onde estas estratégias sejam um ato natural de projeto, de forma a tornar a Arquitetura mais eficiente neste sentido passivo.

2.4. O DESENHO PASSIVO

2.4.1. O CLIMA

Cada clima tem as suas características próprias que vão influir no comportamento térmico e no conforto ambiental da Arquitetura produzida. Contudo, cada escolha projetual em Arquitetura deverá ser climaticamente consciente, tanto na interpretação, como no aproveitamento destas características. A conjugação dos vários elementos climáticos – temperatura do ar, radiação solar, humidade e vento – originam diversas variações climáticas que resultam num determinado tipo de clima. Estes elementos estão sempre interligados, pelo que a solução projetual deve considerar uma análise no seu conjunto, e nunca individualmente. De seguida são apresentados os vários elementos climáticos.

2.4.1.1. TEMPERATURA DO AR

A temperatura do ar costuma ser medida em graus Celsius (°C) ou em outras unidades, como o Fahrenheit (°F) e o Kelvin (K).

Como fatores reguladores da temperatura à superfície terrestre, poderemos incluir:

- **Latitude:** é um fator de extrema importância ao determinar a radiação incidente na atmosfera ao longo das várias épocas do ano, condicionando, deste modo, os valores globais de temperatura e as suas alterações;
- **Transparência atmosférica:** equilibra a radiação do lugar, pois condiciona tanto as perdas de energia por absorção e reflexão, como pelas retenções de energia infravermelha emitida pela terra;
- **Natureza da superfície:** contribui também para se manter o equilíbrio através das perdas por reflexão e irradiação da superfície terrestre;
- **Massas oceânicas:** exercem um papel regulador térmico, atenuando os valores máximos de temperatura e diminuindo a amplitude térmica;
- **Circulações atmosféricas e oceânicas:** atuam como transmissores de calor entre os vários lugares da superfície terrestre, e dependendo da característica das massas de água ou de ar serem quentes ou frias, estas aquecem ou arrefecem os lugares que atravessam;
- **Altitude:** a temperatura decresce à medida que a altura aumenta;
- **Topografia:** ao condicionar a radiação solar que incide num lugar, origina microclimas bastante acentuados, especialmente em zonas bastante acidentadas, em que a vertente fria e húmida contrasta com a quente e seca. Contudo, a topografia poderá também influenciar o regime de ventos.

2.4.1.2. RADIAÇÃO SOLAR

A radiação solar constitui um dos fatores de maior importância no ato de projeto; se por um lado, é responsável pela iluminação natural dos edifícios, por outro é responsável pelo seu aquecimento.

As nuvens, as massas de gelo, a neve e a própria superfície terrestre refletem grande parte da energia solar incidente, reenviando-a sob a forma de energia refletida. Ao atravessar a atmosfera a radiação solar é parcialmente absorvida e transformada em calor pela própria atmosfera. Parte dessa radiação é dispersada pelas moléculas dos gases constituintes e por outras partículas em suspensão, sendo absorvida e refletida pelas nuvens. Como resultado destes processos, a radiação é atenuada durante a sua trajetória, podendo apresentar variações dependendo da região. Por outro lado, a relação entre a

incidência direta e a difusão de radiação global pode ser aumentada ou diminuída em função da presença de nebulosidade, ou seja, com presença parcial de nuvens, o fluxo radiante é maior, porém, com nebulosidade total, o fluxo de radiação global é menor.

Os edifícios são afetados por cinco tipos diferentes de radiação, nomeadamente, a radiação direta, proveniente diretamente do sol, a radiação difusa, originária da abóbada celeste, a radiação refletida pela superfície terrestre adjacente, a radiação vinda do solo e dos objetos próximos com temperatura elevada e a radiação procedente da troca de calor entre o edifício e o céu.

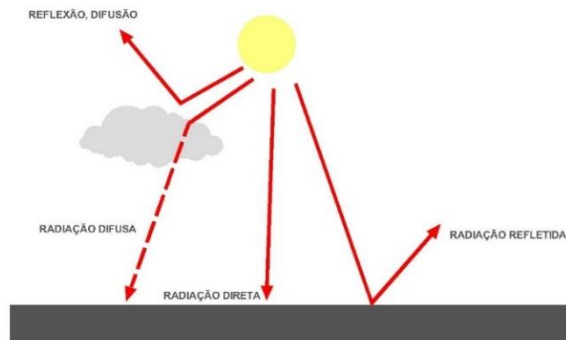


Figura 2.12 – Radiação solar incidente

A energia solar que incide sobre uma superfície horizontal em tempo quente é sensivelmente o dobro daquela que incide sobre uma superfície vertical. Deste modo, as superfícies horizontais que envolvem os edifícios refletem uma quantidade expressiva de calor, apresentando uma intensidade mais ou menos elevada de acordo com o tipo de superfície. Estas superfícies, bem como os objetos aquecidos pela radiação solar que se encontram em torno das edificações, podem produzir um aumento considerável de temperatura. O equilíbrio da temperatura terrestre é conseguido através da proporção de calor libertado pela terra e a radiação solar recebida. No entanto, estes valores não são sempre constantes, apresentando variações em função das estações do ano.

A forma esférica da Terra constitui uma das principais razões pela qual a radiação solar diminui com a Latitude. À medida que a latitude aumenta, o ângulo de incidência diminui e a massa atmosférica atravessada pelos raios solares aumenta, fazendo com que as perdas por absorção, reflexão e difusão sejam maiores e, portanto, a quantidade de radiação recebida diminua. Por outro lado, quanto menor é o ângulo de incidência, maior é a superfície pela qual a radiação se distribui, reduzindo consideravelmente a quantidade de energia recebida por unidade de superfície e, consequentemente, a capacidade de armazenamento.

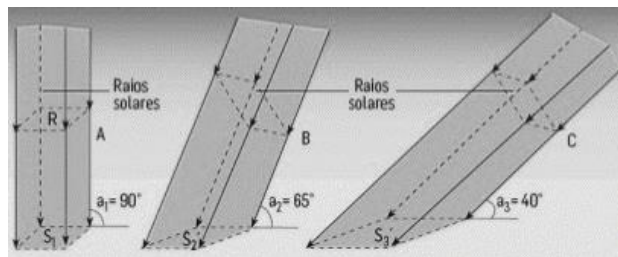


Figura 2.13 – Relação entre o ângulo de incidência (a), a massa atmosférica e a superfície (S) [16]

Quanto maior for o tempo de exposição solar, maior é a radiação recebida. Similarmente, quanto maiores forem os ângulos de incidência, maior será a receção de radiação. Um elevado ângulo de incidência, determina, então, que os raios solares incidam apenas sobre uma pequena área de superfície,

intensificando-se, assim, a radiação. Contrariamente, um menor ângulo de incidência provoca uma menor intensidade de radiação, devido à sua dispersão por uma área mais ampla.

2.4.1.3. HUMIDADE

A evaporação natural da água e a evapotranspiração dos seres vivos origina vapor de água atmosférico, contudo, a capacidade para reter vapor não é distribuída uniformemente ao longo da superfície terrestre, estando mais presente nas zonas de alta temperatura equatoriais. A quantidade de vapor de água na atmosfera pode ser expressa de diversas formas, consoante as aplicações que se pretendem.

A **humidade absoluta** define-se pelo total de massa de vapor de água por unidade de volume de ar, exprimindo-se em gramas por metro cúbico (ou em gramas por quilo de ar seco). O ar apresenta uma inter-relação com a temperatura, o que influi na sua capacidade limitada para conter vapor de água, pelo que, quando o limite é alcançado, diz-se que o ar se encontra saturado. Assim, nas regiões mais quentes a quantidade de precipitação é normalmente abundante, verificando-se também a situação oposta, ou seja, nas zonas muito frias do globo, a humidade absoluta é reduzida, pelo que a precipitação é escassa.

A **humidade relativa** indica a relação, em percentagem, entre a quantidade de vapor de água existente na atmosfera e aquela possível de ser contida à mesma temperatura. Humidade relativa e temperatura variam em função inversa, uma vez que à medida que a temperatura aumenta, diminui a humidade relativa, para a mesma quantidade de vapor de água presente no ar. Quando o ar abarca o valor máximo de vapor de água possível diz-se que o ar se encontra saturado e que a humidade relativa é de 100%.

A **pressão de vapor** é a parte da pressão atmosférica global causada pela presença de vapor de água, e expressa-se em unidade de pressão.

2.4.1.4. VENTO

O vento é um fenómeno meteorológico que se manifesta pela deslocação horizontal de ar instigada pela diferença de pressão entre duas regiões. O movimento de rotação da Terra em torno do seu eixo Oeste-Este é acompanhado pela atmosfera, que realiza simultaneamente esse mesmo movimento. É quando o movimento horizontal do ar difere em velocidade ou direção daquele realizado pela atmosfera, que se designa por vento. O vento é medido em função de dois parâmetros, direção e intensidade. O conhecimento destas variantes mostra-se relevante para projetar as aberturas do edifício, de forma a favorecer a ventilação cruzada. Deve também ser prevista a introdução natural deste elemento no edificado durante a estação de arrefecimento e, paralelamente, ser controlada a sua penetração durante a época de aquecimento, para assim ser possível assegurar o conforto térmico.

2.4.2. O CLIMA EM PORTUGAL

A caracterização do clima de Portugal e os seus dados climáticos são instrumentos imprescindíveis de avaliação no planeamento e construção de um edifício. Os dados climáticos influenciam no desempenho da edificação sob o aspeto da transferência de calor através dos materiais empregues, que alteram as condições dentro do ambiente interno, em termos da temperatura do ar, temperatura média radiante, ventilação e humidade.

Portugal Continental, localizado aproximadamente entre as latitudes de 37°N e 42°N e as longitudes de 9.5°W e 6.5°W, no extremo Sudoeste da Europa, situa-se na zona de transição entre o anticiclone subtropical (anticiclone dos Açores) e a zona das depressões subpolares, sendo o clima fortemente

influenciado pela proximidade ao Oceano Atlântico [17]. Portugal Continental é uma região que se estende mais latitudinalmente do que longitudinalmente, distando as regiões mais interiores apenas cerca de 220 km do Oceano Atlântico, o que não obsta a que algumas dessas regiões apresentem características climáticas do tipo continental. Outro dos fatores determinantes do clima é a orografia da região, com áreas significativas das zonas Norte e Centro a ultrapassarem os 1000 m de altitude. A variação dos fatores climáticos referidos (latitude, proximidade ao oceano e orografia), embora pequena é suficiente para induzir variações significativas na temperatura e, principalmente, na precipitação observada em Portugal Continental [17]. Portugal apresenta clima temperado, caracterizado por invernos moderadamente frios, verões quentes e grandes amplitudes térmicas diárias. O clima apresenta variações significativas que podem ser observadas na classificação de zonas climáticas apresentada no Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação. O Decreto-Lei n.º 118/2013, de 20 de Agosto, estabelece o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (REH), no qual são definidas três zonas climáticas de Inverno (I1, I2 e I3) e três zonas climáticas de Verão (V1, V2 e V3) para aplicação de requisitos de qualidade térmica da envolvente (Figura 2.14).

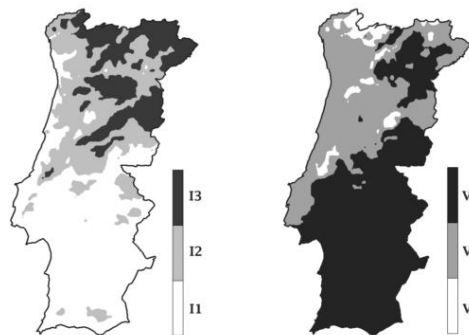


Figura 2.14 - Zonas climáticas no continente, de inverno (à esquerda) e Verão (à direita) [18]

As zonas climáticas de inverno são definidas a partir do número de graus-dias (GD) na base de 18 °C, correspondente à estação de aquecimento, conforme o Quadro 2.1, e estão representadas graficamente na Figura 2.14.

Quadro 2.1 - Critérios para a determinação da zona climática de inverno Critério [18]

Critério	$GD \leq 1300$	$1300 < GD \leq 1800$	$GD > 1800$
Zona	I1	I2	I3

As zonas climáticas de verão são definidas a partir da temperatura média exterior correspondente à estação convencional de arrefecimento (θ_{ext}), conforme o Quadro 2.2, e estão representadas graficamente na Figura 2.14.

Quadro 2.2 - Critérios para a determinação da zona climática de verão Critério [18]

Critério	$\theta_{ext,v} \leq 20^\circ\text{C}$	$20^\circ\text{C} < \theta_{ext,v} \leq 22^\circ\text{C}$	$\theta_{ext,v} > 22^\circ\text{C}$
Zona	V1	V2	V3

2.4.3. ENERGIA SOLAR E OS EDIFÍCIOS

A temperatura do ar exterior e a radiação solar, constituem os elementos climáticos de maior influência nos edifícios, relativamente à transferência de calor. A temperatura do ar atua na envolvente do edifício, induzindo trocas de calor provocando o estabelecimento de fluxos energéticos do interior para o exterior, que ocorrem geralmente no período de Inverno, sendo caracterizadas neste caso por perdas térmicas. Contrariamente ao período de Inverno, no Verão o sentido do fluxo tende a inverter-se, gerando uma situação de ganhos térmicos. No entanto, isto só ocorre a determinadas horas do dia, sobretudo quando há incidência de radiação solar. Na realidade, para a quase totalidade do país, a temperatura média exterior é inferior à temperatura considerada no interior, portanto, em termos médios, temos mais perdas térmicas por transmissão através da envolvente opaca do que ganhos térmicos.

As perdas térmicas, que no Inverno contribuem para a diminuição da temperatura interior num edifício, revelam ser um dos principais aspetos a ter atenção no projeto. Assim, a redução das perdas revela ser uma das medidas mais eficazes no sentido de melhorar as condições de conforto no interior dos edifícios, dispondo assim de soluções de isolamento térmico nos elementos opacos (paredes, cobertura e pavimentos) e/ou a utilização de vidros duplos nos vãos envidraçados [10]. Os ganhos térmicos por troca de calor, em que o fluxo de transferência de calor, tem o sentido exterior – interior, ocorre geralmente no Verão, contribuindo para o aumento da carga térmica do edifício e por consequência da sua temperatura interna. É portanto algo a evitar numa situação de Verão [10].

Contudo, outro dos elementos climáticos de extrema importância, é a radiação solar. Esta apresenta ser uma variável decisiva no conforto térmico de qualquer edifício, sendo que no Inverno constitui uma fonte de calor muito importante, visto que contribui para o aumento da temperatura interior, constituindo uma fonte de calor a evitar no período de Verão, de modo a evitar o aumento da temperatura interior nos edifícios.

Em Portugal, os valores mais baixos de radiação solar ocorrem a noroeste do território, mais especificamente na área do Parque Nacional da Peneda-Gerês onde a radiação média anual é inferior aos 140 kcal/cm^2 , ou seja, $1626,8 \text{ kwh/m}^2$ ($1 \text{ kcal/cm}^2 = 11,62 \text{ kwh/m}^2$). Os valores mais elevados verificam-se no Sudeste e no Sul, com destaque para a bacia do Guadiana e a orla Algarvia, onde a quantidade anual de energia recebida é superior a 170 kcal/cm^2 ($1975,4 \text{ kwh/m}^2$). Portanto, como podemos observar na Figura 2.15, a radiação solar em Portugal Continental, aumenta de Norte para Sul e do Litoral para o Interior.

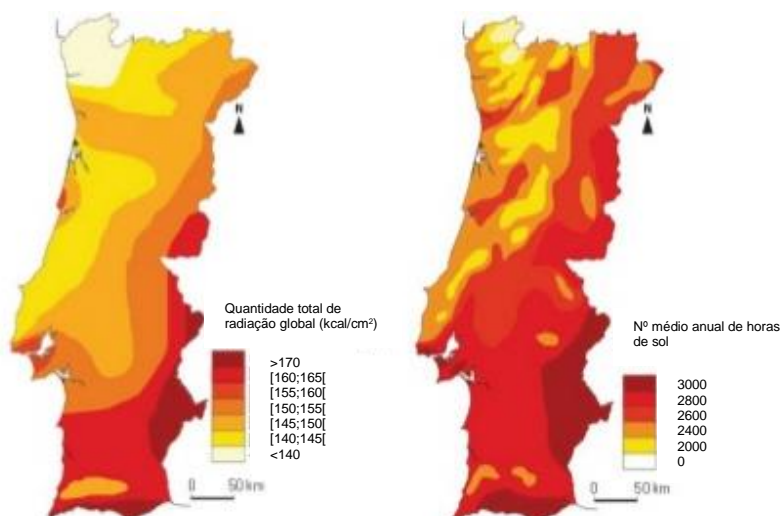


Figura 2.15 - Distribuição para Portugal Continental: da radiação solar global média (à esquerda) [16] e dos valores médios anuais do número de horas de sol (à direita) [16]

É de salientar que, o sol é uma fonte de calor que importa compreender, nomeadamente na sua interação com os edifícios, tanto em termos energéticos (valores da radiação solar), como em termos da sua posição, ao longo de todo o ano, de modo a conseguir projetar o edifício no âmbito das boas práticas da Arquitetura bioclimática.

2.4.4. GEOMETRIA SOLAR

A Geometria solar, no desenho passivo, constitui a ferramenta chave do projeto, permitindo conhecer os diferentes percursos do sol ao longo do dia para as diferentes estações do ano, de modo a aproveitar da melhor forma os ganhos solares para o interior do edifício, nos casos em que o contributo da radiação se afigure necessário e simultaneamente restringir a sua entrada, nos casos em que o mesmo efeito se afigure inconveniente.

O estudo da forma do edifício e das obstruções à incidência de radiação solar designa-se habitualmente por “Geometria da Insolação ou Geometria Solar”. Geralmente incluem-se neste estudo os efeitos de palas e sombreamentos do próprio edifício, bem como os efeitos sombreadores devidos aos edifícios vizinhos, a árvores, vegetação e à forma urbana do espaço circundante (praças, ruas, avenidas, etc.) [10].

A projeção aparente do Sol no plano horizontal do lugar é designada por diagrama de trajetória solar. Quando as trajetórias são representadas para vários dias do ano, numa dada latitude, obtém-se uma carta solar. Na carta solar estão representados o Azimute variando de 0° a 360° , a altura solar variando de 0° a 90° , as trajetórias solares aparentes de alguns dias do ano, ao longo do dia. [19].

O funcionamento de uma carta solar é relativamente simples. Basicamente esta fornece dois ângulos, que estão representados na Figura 2.16 e na Figura 2.17, que indicam a orientação e inclinação do raio solar em determinado momento do dia. O primeiro ângulo (azimute solar – a) é em relação ao norte, e mostra a direção do raio solar, já o segundo (altura solar – h) é em relação à superfície horizontal e mostrará a inclinação desse mesmo raio.

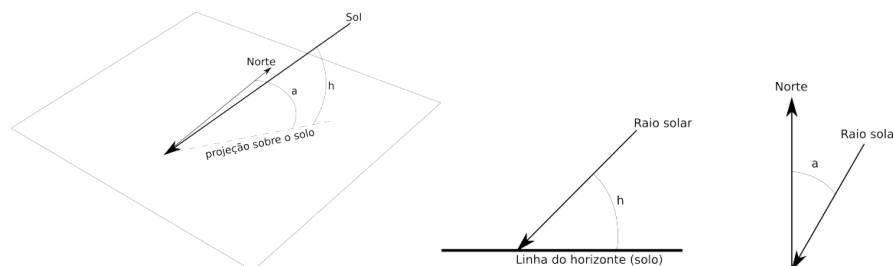


Figura 2.16 - Ângulos a e h [20]

Observando uma carta solar, vemos três fontes de informação: um anel externo com ângulos em relação ao norte (a); a malha, para localizar determinada data e hora; e um seguimento na parte inferior para nos fornecer a inclinação dos raios (h).

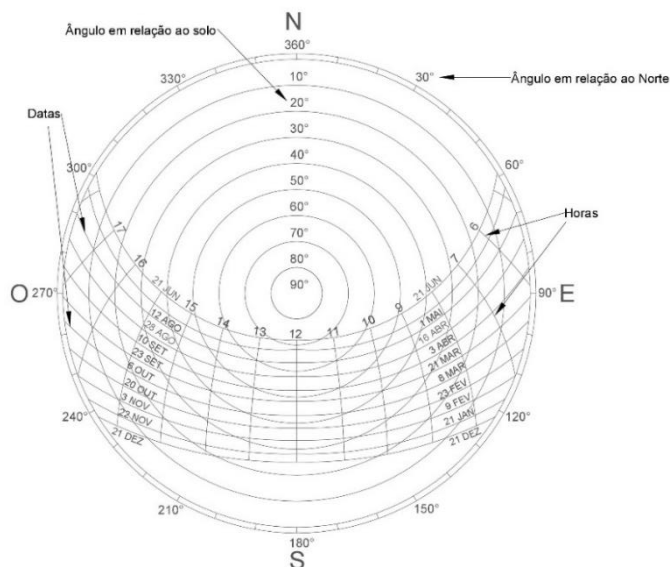


Figura 2.17 - Carta solar para a cidade do Porto (41,1°N) (adaptado de [19])

O percurso do sol ao longo do ano tem uma grande importância, no que respeita à definição da localização das fachadas envidraçadas num edifício, a sua dimensão e o tipo de vidro que se escolhe.

No Hemisfério Norte, durante o solstício de Inverno (21 de Dezembro) o sol nasce relativamente próximo da orientação Sudeste e põe-se relativamente próximo do azimuth Sudoeste, variando o ângulo horizontal do Nascer e do Pôr-do-Sol com a latitude do lugar. Neste dia, o ângulo de altura do Sol apresenta os valores mais baixos de todo o ano. Por outro lado no solstício de Verão (21 de Junho) o sol nasce próximo da orientação Nordeste e põe-se a Noroeste. Neste dia, o ângulo de altura do Sol apresenta os valores mais altos de todo o ano. Nos Equinócios (21 de Março e 21 de Setembro) o sol nasce exatamente na orientação Este e põe-se exatamente na orientação Oeste.

No Hemisfério Sul acontece exatamente o contrário, no solstício de Inverno (dia 21 de Junho) o Sol nasce a Nordeste e põe-se mais para Noroeste enquanto que no solstício de Verão (dia 21 de Dezembro) o sol nasce mais para o Sudeste e põe-se a Sudoeste.

Na Figura 2.18 é representado esquematicamente a trajetória aparente do Sol para o Hemisfério Norte, nas diferentes estações do ano.

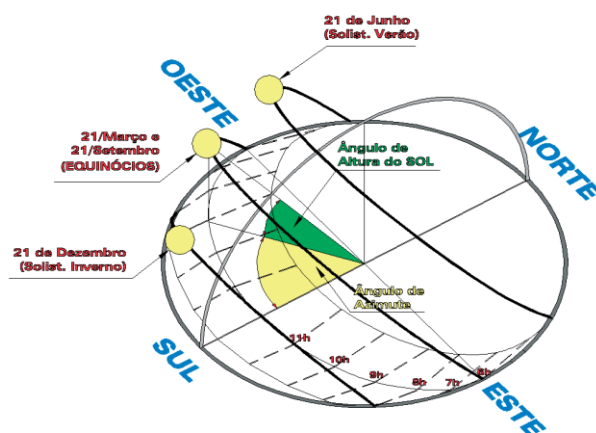


Figura 2.18 - Trajetória aparente do Sol para o Hemisfério Norte [10]

2.4.5. INÉRCIA TÉRMICA

A massa térmica é responsável pelo atraso entre o fornecimento de calor e o aumento da temperatura no interior do edifício (Figura 2.19). Este fenómeno pode ser explorado a diferentes níveis, associado com um correto isolamento térmico e ventilação. No inverno, uma massa térmica faz com que a energia recebida durante o dia se manifeste no interior durante a noite. No verão a função é idêntica mas o calor pode ser libertado durante a noite para o exterior através de ventilação.

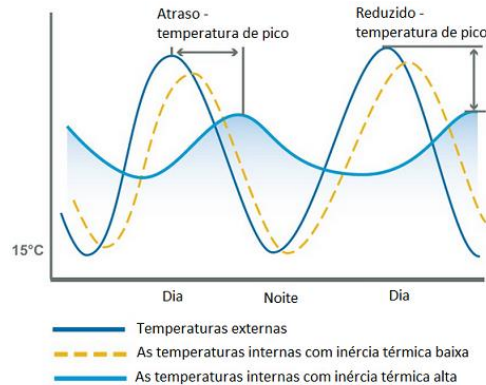


Figura 2.19 - Efeito da massa térmica na estabilização da temperatura interior [21]

Este atraso temporal deve-se em geral à capacidade de materiais construtivos pesados ou de elevada densidade armazenarem calor, tendo assim influência nas temperaturas do ambiente, isto porque os picos de temperatura não se mantêm durante tempo suficiente para serem absorvidos. Com o papel atenuador da amplitude térmica no interior dos edifícios, quanto maior for a massa térmica, menor será a variação da temperatura interior e mais difícil será aquecer ou arrefecer o respetivo espaço. É necessário atingir um equilíbrio entre massa térmica, área de vãos e isolamento. Para se atingir uma melhor eficiência desta característica física dos materiais, é imprescindível conjugar a inércia térmica com um bom isolamento e sistemas de ventilação passivos.

Os sistemas de ventilação natural são muito importantes para as noites com temperaturas mais elevadas, pois permitem que os materiais libertem o calor acumulado durante o dia, não comprometendo a absorção de calor para o dia seguinte e evitam a saturação da inércia térmica dos materiais. Para se otimizar o contributo da inércia térmica é necessário ter em conta os acabamentos dados aos materiais pesados, tentando evitar o seu revestimento com materiais leves (madeiras, alcatifas, tetos falsos) que por sua vez irão funcionar como isolantes, inibindo o desejado intercâmbio térmico entre elementos pesados e ambiente interior. A definição das cores exteriores influencia esta otimização do desempenho energético e ambiental, condicionando a quantidade de radiação solar absorvida.

Compreende-se então que a inércia térmica interfere objetivamente sobre o comportamento do edifício tanto no Inverno ao determinar a capacidade de utilização dos ganhos solares, como no Verão ao influenciar a capacidade do edifício atenuar os picos de temperatura, ou de preservar a temperatura no interior no Inverno.

2.4.6. VENTILAÇÃO NATURAL

Para que a ventilação natural ocorra, é necessário que exista uma diferença de pressões entre duas zonas distintas, provocada principalmente por duas ações, **o vento e a temperatura ou ambas as ações em simultâneo**. Esta diferença de pressões, origina um fluxo de ar, das zonas de pressão mais elevada para

as de pressão mais baixa, sendo condicionado pela resistência à passagem do ar das aberturas e frinchas do edifício.

Nas camadas mais baixas da atmosfera, o vento é determinado por variações aleatórias da velocidade pelo que é normalmente caracterizado por um valor médio de velocidade e de direção para um determinado intervalo de tempo. A ação eólica na ventilação natural, depende sobretudo de dois fatores: velocidade do vento, que está condicionada pelo local e pela envolvente exterior ao edifício; e distribuição de pressões na fachada, que depende da forma do edifício e da sua orientação relativamente ao rumo do vento.

A interação do vento num edifício, promove a alteração no campo de velocidades do ar originado assim uma distribuição de pressões não uniforme. De forma geral ocorrem pressões positivas nas fachadas em que incide o vento (barlavento), e pressões negativas nas fachadas opostas (sotavento), bem como nas fachadas laterais, provocando assim a deslocação de ar no sentido da pressão mais alta para a mais baixa, ou seja o ar entra no edifício pelas aberturas a barlavento e sai através de aberturas localizadas no sotavento como ilustrado na Figura 2.20. Em suma, nestas condições o fluxo de ar que atravessa as aberturas de um edifício, por ação do vento, depende da diferença de pressões entre o barlavento e o sotavento.

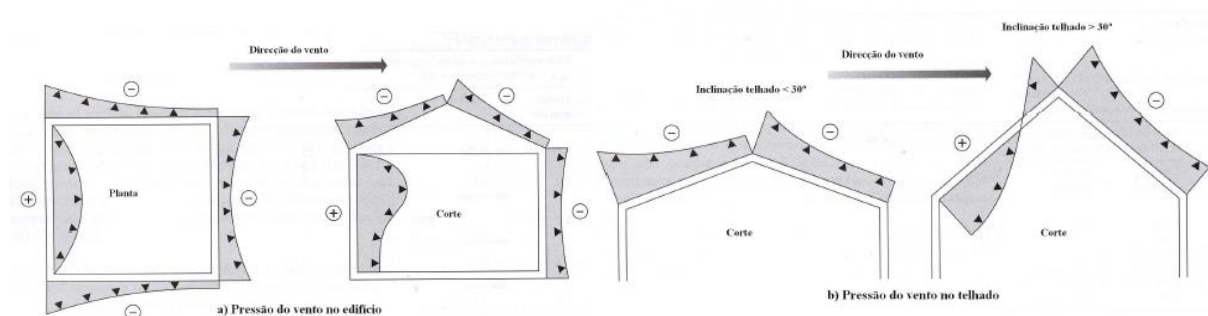


Figura 2.20 - Distribuições de pressão resultante da ação do vento [22]

De modo a que a ação térmica influencie a ventilação natural, é necessário que exista uma diferença de temperatura entre o exterior e o interior para que se estabeleça um fluxo de ar. Este fluxo está associado à diferença de valores de densidade do ar, em que o ar mais quente é mais leve comparativamente ao frio, logo, quando a temperatura do ar interior é superior à do exterior, o ar interior tende a sair do edifício pelas aberturas localizadas a uma cota superior, sendo este ar substituído por ar exterior a uma temperatura mais baixa, admitido através de aberturas localizadas a uma cota inferior à das aberturas de extração. Na distância entre aberturas, existe um ponto no qual a diferença de pressões é nula, isto é quando as pressões no exterior e interior se igualam, a este ponto designa-se de linha neutra, como demonstrado na Figura 2.21.

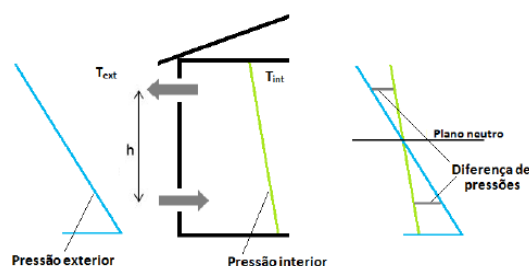


Figura 2.21 - Fenómeno de ventilação por diferença de pressão devido à ação térmica [23]

Este mecanismo de ventilação é conhecido como “efeito chaminé” e é proporcional à diferença de temperatura entre o interior e o exterior e à distância entre as duas aberturas referidas anteriormente. Quando a temperatura do ar interior é superior à do ar exterior, verifica-se um fluxo de ar no sentido ascendente e no sentido inverso, quando se verifica uma temperatura superior no exterior, como ilustrado na Figura 2.22. Ou seja, durante a estação de aquecimento, o efeito de chaminé é induzido pelo calor libertado pelo eventual sistema de aquecimento, existente no interior do edifício, ou mesmo pelo calor libertado por equipamentos e ocupantes do edifício. Nos restantes períodos do ano, admite-se que ação do vento é suficiente para assegurar a taxa de renovação do ar no edifício.

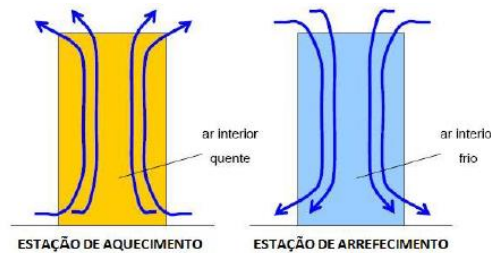


Figura 2.22 - Sentido dos fluxos de ar devido à ação térmica [24]

A ação conjunta das duas ações apresentadas anteriormente, tem que ser tida em conta na conceção dos sistemas de ventilação natural, sendo necessário assegurar que estas duas ações se complementam, tentando evitar assim situações em que se anulem uma à outra.

A taxa de ventilação de um edifício é normalmente traduzida em termos de caudal volúmico de ar, ou caudal volúmico de ventilação, Q , expresso em l.s^{-1} ou $\text{m}^3.\text{h}^{-1}$. Atualmente considera-se a ventilação como o processo de providenciar a renovação de ar aos ocupantes de um edifício mais do que ao edifício propriamente dito, com o objetivo de assegurar uma boa qualidade de ar com o mínimo custo e impacto ambiental. Assim, é também muito utilizado o conceito de caudal volúmico de ventilação por pessoa.

Outro indicador usual na quantificação da taxa de ventilação de espaços interiores é o número de renovações horárias, R_{ph} . Este indicador, é também designado na literatura por taxa de renovação horária ou simplesmente, renovação horária. O número de renovações horárias está relacionado com o caudal volúmico de ventilação. A renovação horária pode ser entendida como o número de vezes que o ar de um espaço é renovado em cada hora. No entanto, dizer que a renovação horária é igual a 1 h^{-1} significa que o volume total de ar exterior que passa pelo espaço fechado numa hora é igual ao volume desse espaço e não necessariamente que todo o ar interior seja completamente renovado, podendo ser calculado pela expressão que se segue.

$$R_{ph} = \frac{Q}{V} \quad (1)$$

Onde:

- R_{ph} : número de renovações horárias [h^{-1}];
- Q : caudal volúmico de ventilação [$\text{m}^3.\text{h}^{-1}$];
- V : volume efetivo do espaço [m^3].

O REH (Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação, Decreto-Lei n.º 118/2013), exige que no seu processo de verificação e na certificação energética se considere um número mínimo de renovações por hora de 0,4 RPH para a estação de arrefecimento. Caso se considere um sistema de ventilação exclusivamente natural pode seguir-se a metodologia proposta pela NP1037 – 1.

Na prática, no sector residencial, não há exclusivamente ventilação natural pelo facto do “exaustor” estar quase sempre presente, isto é, estamos em presença de sistemas de ventilação mistos.

No contexto climático português, a ventilação natural é extremamente importante para garantir a otimização do conforto no interior dos edifícios; utiliza-se um recurso renovável, a temperatura no exterior, e a renovação do ar a uma taxa adequada, fundamental para manter no edifício o ar interior com boa qualidade.

Num clima como o de Portugal, para obter um arrefecimento passivo eficiente deve-se, portanto, aproveitar-se as amplitudes térmicas diárias, por exemplo, durante a noite e durante o início da manhã, privilegiando os períodos mais frescos do dia e da noite. Contudo, a ventilação natural conjugada com uma adequada inércia térmica, permite que, nos espaços interiores, sejam minimizados os ganhos excessivos e os extremos de calor. A inércia térmica garante a estabilidade térmica interior ao longo de todo o ano. A ventilação natural permite a redução imediata de extremos de temperatura em situações onde a inércia térmica não é, por si só, suficiente para “varrer” os espaços com o ar que vem de fora, preferivelmente de uma zona que está à sombra, ou durante a noite. O comportamento do ar e da ventilação é, por vezes, difícil de controlar por parte dos utilizadores, podendo ocorrer situações de movimentação de ar menos confortáveis.

De modo de assegurar um ambiente interior adequado à permanência de ocupantes, os caudais contabilizados nos fluxos de ventilação devem satisfazer as necessidades de ventilação, que dependem do padrão de ocupação, da atividade praticada no edifício e dos materiais existentes no interior. A admissão de ar limpo, procede-se maioritariamente através de aberturas dedicadas fixas ou reguláveis, situadas na envolvente. A localização das entradas de ar deve, tanto quanto possível, tentar reduzir os riscos de desconforto, nesse sentido é aconselhável a instalação das grelhas a um nível elevado, preferencialmente a uma altura igual ou superior a 1,8m, reduzindo assim a sensação de entrada de ar frio. Correntemente, a solução preconizada é a instalação das grelhas sobre os vãos da fachada, podendo esta solução ser materializada na caixilharia do envidraçado, na caixa de estore caso exista, ou na própria parede da envolvente, como representado nos desenhos representativos da Figura 2.23, que são soluções previstas na NP 1037-1.

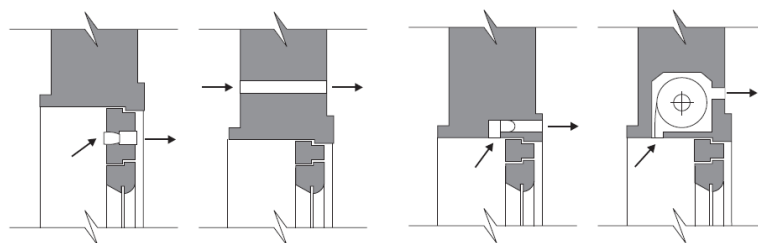


Figura 2.23 - Alternativas de posicionamento das aberturas de admissão de ar [25]

Para além destas alternativas de posicionamento das aberturas de admissão de ar, também é comum ocorrerem entradas de ar através de infiltrações na envolvente, através de todo o tipo de frinchas como por exemplo, juntas entre elementos construtivos, fendas em caixilhos de janelas e portas e caixas de estore. As infiltrações de ar dependem das condições climáticas, características construtivas e idade dos edifícios. Em Portugal, as soluções construtivas utilizavam uma estratégia de ventilação natural, baseado apenas na infiltração de ar através de aberturas não intencionais na envolvente do edifício. Esta ventilação era geralmente muito fraca, sendo normalmente necessário complementar com a abertura de janelas, de modo a aumentar os caudais de ar novo. Esta solução muito enraizada nos costumes portugueses, é simples e de custo nulo, adaptando-se assim ao contexto português, pois o clima é ameno e não envolve custos de instalação, manutenção ou de consumo de energia. Porém, esta técnica apresenta

várias desvantagens, uma vez que, os caudais e o padrão de escoamento são variáveis, pois dependem das diferenças de pressão, resultantes da variação do vento e da temperatura, parâmetros naturais que oscilam constantemente face às condições meteorológicas. É importante referir que, a estratégia de ventilação por infiltrações não ser a mais correta, pois as trocas de ar ocorrem sem controlo quantitativo dos caudais, podendo gerando assim desconforto nos ocupantes, com o surgimento de correntes de ar e perdas energéticas durante a estação de aquecimento.

2.4.7. CONDICIONANTES EXTERNAS

2.4.7.1. IMPLANTAÇÃO

Estudar as condições da envolvente do edificado implica ter conhecimento das características climáticas de cada região e interpretá-las arquitetonicamente. A compreensão da complexidade das interações dos diferentes fatores ambientais é essencial para que o projetista seja capaz de conceber espaços apropriados às condições climáticas locais, pois só assim é possível prever adequada e atempadamente as consequências das transformações que as construções provocam na sua envolvente. Torna-se fundamental o conhecimento e caracterização do clima, de modo a delinear as soluções projetuais mais convenientes e eficientes, tendo em mente que existirão outros fatores que poderão gerar alterações mediante a escolha destas soluções. Contudo, tanto quanto mais importante que o clima geral da região é a envolvente próxima das construções, o microclima. No microclima, poderão originar-se condições muito diferentes da zona ou domínio climático.

O clima geral de uma região poderá apresentar variadas flutuações, denominadas por microclimas, em função da presença ou não, de barreiras geomorfológicas, água ou vegetação. Em Portugal é possível observar algumas situações de contraste, como por exemplo na região norte, nomeadamente entre a zona costeira e a zona transmontana. Ambas se encontram à mesma latitude, no entanto, a presença de uma cadeia montanhosa marca uma profunda desigualdade de climas.

Em terrenos acidentados, as pendentes orientadas a Sul têm maior quantidade de insolação ao longo do dia, tornando assim mais favoráveis à construção. Contudo, a implantação de um edifício deverá ter em conta as zonas pouco húmidas, as zonas de menor sombra e as zonas protegidas dos ventos dominantes. Assim, como é possível observar na Figura 2.24, os edifícios situados em zonas expostas e desprotegidas (B), ou em zonas húmidas de fraca exposição solar (C), apenas conseguirão conforto térmico mediante implementação de dispendiosos consumos de energia ou técnicas de construção; em contrapartida os edifícios situados em locais protegidos dos ventos, secos e com exposição solar (A) serão edifícios com melhores condições de implantação.

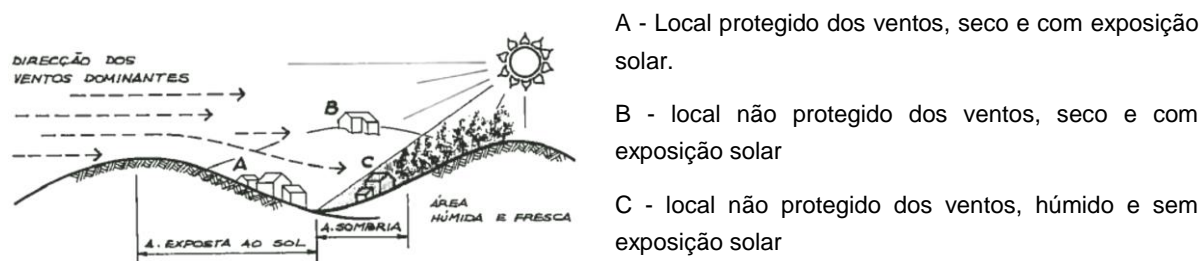


Figura 2.24 – Diferentes localizações dos edifícios [26]

Uma pendente a Sul ou a Norte, poderá significar uma diferença de temperatura relevante. A própria existência de árvores que obstruam a passagem do vento ou mesmo a presença de terrenos alagadiços que humedecem o ar, poderão gerar um microclima muito distinto do existente a curta distancia, ou seja, haver uma diferença térmica de vários graus entre lugares muito próximos entre si.

Contudo, o vento poderá alterar as condições anteriores pois, de acordo com a sua proveniência, poderá ser mais quente ou mais frio e mais seco ou mais húmido. Assim sendo, o ar (aquecido ou não pela ação solar) mover-se-á, alterando as condições que a radiação gerava. O terreno poderá continuar a estar quente ou frio, mas o só ar que sobre ele de movimenta e a radiação, mantêm a diferença entre os lugares soalheiros ou sombreados. Para além disso, o ar é desviado por obstáculos naturais ou artificiais, que impedem o seu movimento fluido, podendo, em cada lugar específico, originar uma maior ou menor ação do vento e, assim, um microclima diferente

Outra questão de extrema importância a referir relativamente à implantação, nomeadamente nos centros urbanos, prende-se com assegurar uma correta distância entre o edifício a projetar e os edifícios vizinhos, de modo a evitar a criação de sombras permanentes projetadas, nomeadamente sobre as fachadas Sul, e principalmente no Inverno. Contudo, nos centros urbanos, é possível obter uma maior redução das amplitudes das temperaturas do ar, não só nos edifícios como nos espaços públicos, conseguindo climas mais amenos, com recurso a adequadas disposições de planeamento urbanístico e paisagístico (implantação de zonas verdes, etc.).

2.4.7.2. ORIENTAÇÃO E FORMA

A principal fonte de aquecimento passivo é a energia calorífica proveniente do sol, pelo que é desejável que o projeto de arquitetura preveja a melhor implantação do edifício em termos de orientação, de modo a beneficiar o mais possível deste generoso recurso natural. Para além do sol deve ser considerada outra variável essencial, o vento, visto ter a capacidade de justificar a modificação da orientação em vários graus. A frequência dos ventos, a sua velocidade, bem como as suas características gerais, devem ser considerados de modo a encontrar-se a solução mais eficiente. Para que no Inverno se possam assegurar os ganhos solares imprescindíveis para otimizar as condições térmicas e bem-estar, deveremos garantir que a fachada Sul esteja na sua totalidade exposta a radiação solar. A presença de vegetação de folha persistente, na fachada Norte ajudará a reduzir o impacto dos ventos dominantes, enquanto a presença de vegetação de folha caduca na fachada sul, permitirá proteger da radiação solar no Verão.

Outra questão primordial a abordar é a orientação adequada dos espaços de permanência (Figura 2.25). Promover a orientação correta dos espaços de permanência do edifício em função do percurso solar permite um melhor aproveitamento da energia renovável do sol como fonte de conforto para estes espaços. É de salientar que a orientação Norte para estes espaços é de todo a evitar. A orientação Sul permite uma maior penetração do sol de Inverno e uma reduzida penetração do sol de Verão. Desta forma, as janelas de um alçado orientado a Sul conseguem proporcionar ao interior do edifício um acréscimo de conforto térmico, tanto no Inverno, quando o calor do sol é bem-vindo, como no Verão, quando os ganhos solares não são desejados, nem necessários. Deste modo, no espaço interior com orientação Norte, deverão ficar implantadas funções secundárias, como por exemplo arrecadações, despensas, escadas, corredores, garagem, etc. Contrariamente, nos espaços interiores orientados a Sul, deverão estar implantadas zonas relativas às funções principais, ou seja, à maior superfície habitada.

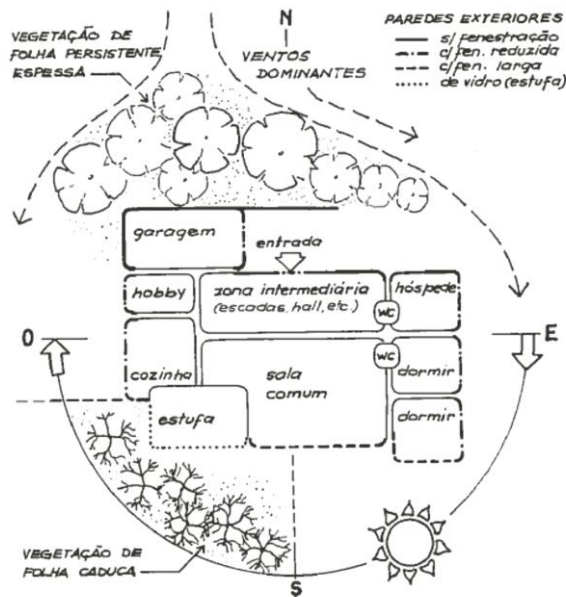


Figura 2.25 – Representação em planta da hierarquia da fenestração e da criação de zonas térmicas intermediárias ou zonas tampão [26]

A forma arquitetônica, ao intervir nos fluxos de ar e na qualidade de luz e calor recebidos, pode ser influente de modo determinante no conforto e desempenho energético do edifício. Desta maneira, podem condicionar-se as perdas térmicas do edifício, diminuindo-as em função da menor quantidade saliências e reentrâncias, e ainda, em função da menor área de superfície exterior. Quanto mais compacta for a forma do edifício, com poucas saliências e reentrâncias, e uma reduzida superfície exterior, tanto mais reduzidas são as perdas de calor e melhor será o seu balanço térmico global [26]. Uma reduzida relação superfície/volume é um fator importante para a eficiência energética como se pode perceber pelo esquema da Figura 2.26. As perdas térmicas de um edifício são diretamente proporcionais à relação superfície/volume, diminuindo relativamente com o aumento de volume do edifício. Para diferentes formas de igual volume, os balanços térmicos são diferentes, sendo a calote esférica a forma mais otimizada [26].

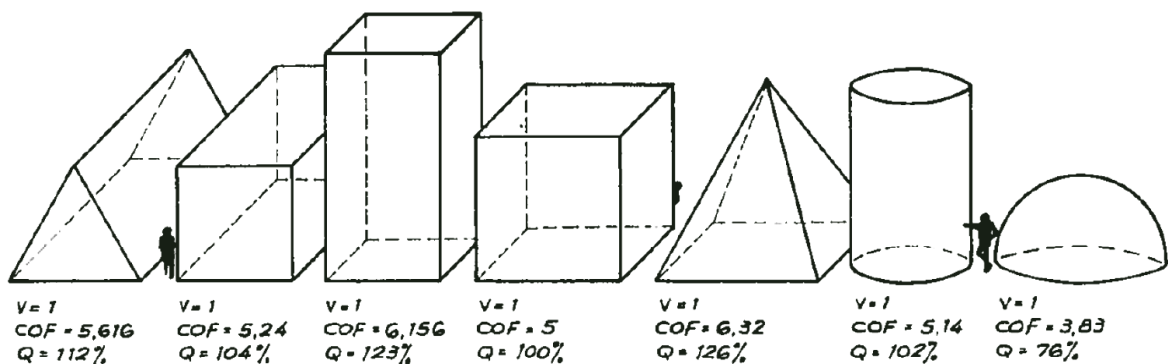


Figura 2.26 - Perdas térmicas através de diferentes estruturas tridimensionais com o mesmo volume [26]

Por outro lado, a face de um edifício orientada a Sul, deverá ser sempre mais longa que as orientadas a Este e Oeste. Deste modo, um edifício mal orientado, ou seja, com menor dimensão da fachada a Sul, será mais frio no Inverno (radiação máxima a Sul com fachada reduzida), como será mais quente no Verão (máxima radiação a Este e Oeste com grandes fachadas). Contrariamente, um edifício bem

orientado conseguirá aproveitar a radiação solar que incidirá na fachada Sul, enquanto no verão, mediante uso de proteção solar, conseguirá anular o efeito nefasto da radiação sobre a mesma fachada.

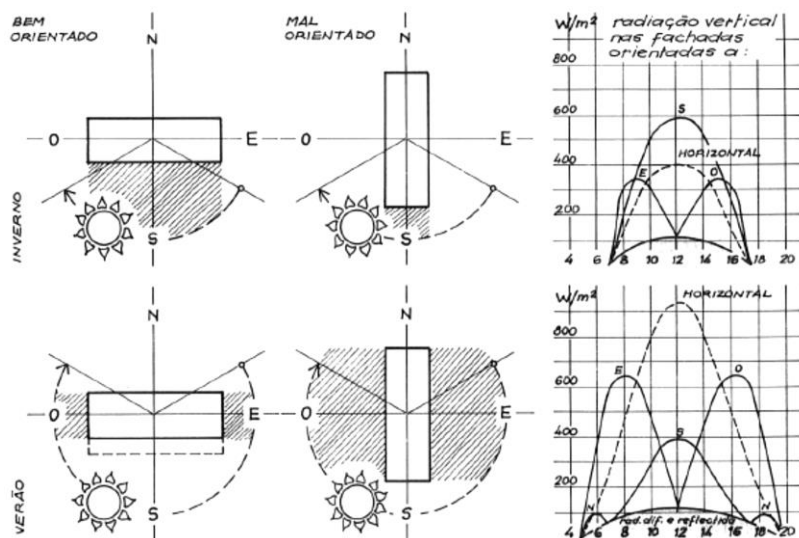


Figura 2.27 – Representação esquemática dos valores de radiação nas fachadas de um edifício no Verão e no Inverno [26]

Como projetista, torna-se necessário saber de que maneira se deve posicionar o edifício em relação ao sol. A metodologia a seguir deverá basear-se no estudo das trajetórias aparentes do sol, sendo que a respetiva orientação e dimensão irá determinar sua exposição.

2.4.7.3. VEGETAÇÃO

A vegetação é um elemento de extrema importância na regularização e equilíbrio das condições climáticas extremas, assim como no estabelecimento de relações microclimáticas tendentes a uma melhor integração do homem no meio geográfico. As características e espécie de vegetação, o tipo e a densidade da folhagem, a forma de ordenamento entre si, o posicionamento do terreno e o débito de evaporação são, entre outros, fatores que podem influenciar decisivamente o clima e originar diferentes efeitos específicos climáticos, e assim contribuir para o melhoramento dos microclimas urbanos. A vegetação contribui de forma significativa ao estabelecimento dos microclimas. O próprio processo de fotossíntese contribui para a humedificação do ar através do vapor de água que liberta. A presença de vegetação, contribui de forma satisfatória para a qualidade do ar, devido ao facto de possuir capacidade de absorver as partículas poluentes em suspensão e promover a redução de CO₂, oxigenando a atmosfera, através da fotossíntese.

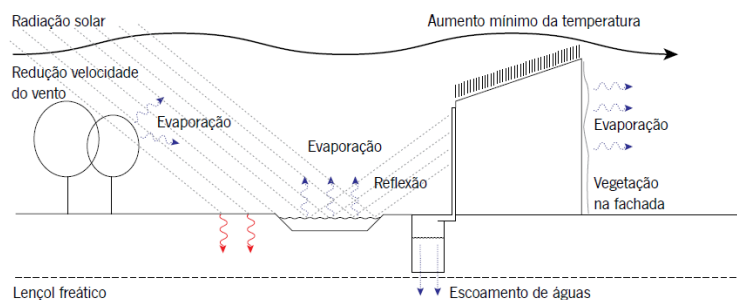


Figura 2.28 - Esquema de utilização e benefícios de utilização de vegetação [27]

A densidade da copa e o tipo de vegetação deverão ser usados dependendo do objetivo que se pretende alcançar. A vegetação de folhagem persistente e muito densa (folhagem espessa), de pequeno ou grande porte, segundo os casos, é apropriada para a construção de barreiras protetoras dos ventos dominantes. Por outro lado a vegetação de folha caduca representa um ideal contributo natural à regulação periódica anual da quantidade de radiação solar nas fachadas, que se pretende que seja máxima durante o Inverno e nula durante o Verão. Uma outra forma muito eficaz de utilizar vegetação como protetor térmico das fachadas é o recurso as chamadas plantas trepadeiras. Estas plantas, quando tem uma ramagem muito espessa, originam uma camada de ar imóvel entre a folhagem e a parede, fator que melhora substancialmente o coeficiente à condutância térmica superficial exterior (h_e) [26].

2.4.8. CONDICIONANTES INTERNAS

2.4.8.1. ENVOLVENTE OPACA

A transmissão de calor por condução através da envolvente dos edifícios, sejam perdas de calor através dos elementos construtivos da envolvente na estação de aquecimento, sejam ganhos indesejáveis de calor através dos mesmos elementos na estação de arrefecimento, são fenómenos importantes que determinam o comportamento térmico dos edifícios. De modo a reduzir estes efeitos, tanto na estação de aquecimento como na estação de arrefecimento, deverá proceder-se ao aumento da resistência térmica dos elementos construtivos. No caso da envolvente opaca (ou seja paredes, coberturas e pavimentos), dever-se-á incorporar materiais isolantes. O isolamento térmico tem como função principal o aumento da resistência térmica da envolvente do edifício, de forma a reduzir as trocas de calor entre o edifício e o exterior, reduzindo as necessidades de aquecimento e arrefecimento, assim como o risco de condensações.

Os isolantes térmicos podem ser classificados quanto a: natureza (mineral, vegetal ou sintética); estrutura (fibrosa, celular ou mista); modo de produção (pré-fabricados ou formados “in-situ”); apresentação (rígidos, semi-rígidos ou granulares). No Quadro 2.3 são apresentados vários isolantes térmicos com a respetiva classificação [28].

Quadro 2.3 – Classificação de alguns isolamentos térmicos [28]

Produto	Natureza	Estrutura	Produção	Condutibilidade Térmica [W/(m. °C)]
Lã de rocha	Mineral	Fibrosa	Placas: mantas	0,04
Lã de vidro	Mineral	Fibrosa	Placas: mantas	0,04
Vidro celular	Mineral	Celular	Placas	0,05
Aglomerado negro de cortiça	Vegetal	Celular	Placas; Granel	0,045
Fibra de coco	Vegetal	Celular	Placas: mantas	0,044
Poliestireno expandido	Sintético	Celular	Placas	0,04
Poliestireno expandido extrudido	Sintético	Celular	Placas	0,035
Poliuretano	Sintético	Celular	In-situ	0,03

O isolamento térmico reduz significativamente a passagem de calor, por condução, entre o interior e o exterior. A introdução do mesmo permite, então, manter uma temperatura constante mais facilmente, diminuindo as perdas de calor e aproveitando os ganhos. Para além disso, a colocação do isolamento térmico previne as condensações em superfícies com a temperatura inferior ao ponto de orvalho[29]. No entanto, estes benefícios dependem da continuidade do isolamento, de modo a que não resultem pontes térmicas, isto é, zonas localizadas na envolvente do edifício onde existe maior perda de calor em relação às restantes áreas da envolvente exterior. Estes pontos frágeis na envolvente levam a um aumento do consumo de energia para aquecimento, podendo mesmo originar patologias como infiltrações e condensações, reduzindo a sua durabilidade. De modo a evitar estas fragilidades, o isolamento térmico deve realizar-se de preferência pelo exterior de modo aproveitar a estabilidade térmica que os elementos de elevada densidade proporcionam para o interior, e protegendo estes, para que não afetem a temperatura absorvida, dos extremos de frio e calor. O facto de se isolar os edifícios de forma contínua e pelo exterior aumenta-lhes a vida útil, visto todos os materiais e sistemas construtivos estarão protegidos contra as amplitudes térmicas.

O coeficiente de absorção da radiação solar, é essencialmente condicionado pela cor da superfície exposta do produto, pelo que se torna de grande relevância, para uma maior durabilidade, a escolha da cor na fase de projeto tendo em consideração os valores do Quadro 2.4.

Quadro 2.4 – Coeficiente de Absorção da radiação solar, α [30]

Cor	α
Clara (branco, creme, amarelo, laranja, vermelho-claro)	0,4
Média (vermelho-escuro, verde-claro, azul claro)	0,5
Escura (castanho, verde escuro, azul vivo, azul escuro)	0,8

Em Portugal, o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação estabeleceu através da portaria nº379-A/2015 de 22 de Outubro de 2015, coeficientes de transmissão térmica superficiais máximos admissíveis para os elementos opacos em função da zona Climática de Inverno (I1,I2,I3). É de salientar, que a presente portaria estabelece coeficientes de transmissão térmica superficiais bastante exigentes para a zona corrente da envolvente em contato com o exterior ou com espaços não úteis com coeficiente de redução de perdas $b_{tr} > 0.7$. Estes estão representados no Quadro 2.5.

Quadro 2.5 – Coeficientes de transmissão térmica superficiais máximos admissíveis para elementos opacos [31]

Umáx [W/(m². °C)]		Zona Climática		
Portugal Continental				
Zona Corrente da Envolvente:		I1	I2	I3
Em contato com o exterior ou com espaços não úteis com coeficiente de redução de perdas btr>0.7	Elementos opacos verticais	0,50	0,40	0,35
	Elementos opacos horizontais	0,40	0,35	0,30
Em contato com outros edifícios ou espaços não úteis com coeficiente de redução de perdas btr≤0,7	Elementos opacos verticais	2,00	2,00	1,90
	Elementos opacos horizontais	1,65	1,30	1,20
Regiões autónomas				
Zona Corrente da Envolvente:		I1	I2	I3
Em contato com o exterior ou com espaços não úteis com coeficiente de redução de perdas btr>0.7	Elementos opacos verticais	0,70	0,60	0,45
	Elementos opacos horizontais	0,45	0,40	0,35
Em contato com outros edifícios ou espaços não úteis com coeficiente de redução de perdas btr≤0,7	Elementos opacos verticais	2,00	2,00	1,90
	Elementos opacos horizontais	1,65	1,30	1,20

2.4.8.2. ENVOLVENTE NÃO OPACA

Os vãos envidraçados são componentes do edifício que permitem uma relação direta entre o seu interior e o exterior. Para além da vista, estes incentivam a receção de ganhos solares diretos e potenciam uma ventilação e iluminação natural. O seu dimensionamento é da maior importância para um correto balanço energético, pelo que deve ser adequado ao percurso solar e ao clima. Deve ainda existir um equilíbrio entre áreas envidraçadas, que reagem ao clima de uma forma mais instantânea, e as opacas, que atenuam o impacto das incidências extremas do clima.

Num clima como o de Portugal, a orientação que mais otimiza os ganhos solares ao longo de todo ano é a orientação a sul. A **orientação a sul** torna-se bastante útil pois consegue receber ganhos quando os raios solares estão baixos (Inverno) e, com a ajuda de um sistema de sombreamento, prevenir a entrada dos raios solares quando estes estão mais altos (Verão).

Nas **orientações a Nascente e Poente** não se verifica uma diferença tão acentuada do ângulo solar. Por este motivo, um envidraçado colocado sobre estas orientações necessita de cuidados especiais, já que, durante o Verão, especialmente a Poente, existe o risco de sobreaquecimento por efeito de estufa. Torna-se assim relevante que o dimensionamento dos vãos nestas orientações seja mais contido e que exista um sistema de sombreamento pelo exterior.

Os **vãos orientados a Norte** possuem um peso significativo no balanço energético, visto que não produzem ganhos energéticos significativos. Mesmo assim, estes vãos são essenciais pois potenciam uma boa ventilação natural dos espaços, favorecem uma iluminação natural difusa (aproveitando a luz proveniente da abóbada celeste), estabelecem relações visuais com o exterior, etc.. Assim sendo, sempre que se projete uma abertura na fachada a Norte é importante reavaliar o equilíbrio global do edifício do ponto de vista dos ganhos e das perdas energéticas.

No **caso dos vãos zenitais**, quando estes se aproximam de um plano horizontal permitem a entrada de muita radiação solar durante todo o ano. Em Portugal, esta radiação é bem-vinda durante os meses mais frios, porém nos meses mais quentes pode originar sobreaquecimento do espaço. Este risco pode ser mitigado através de uma ventilação natural eficiente e/ou sistema de sombreamento. Para os envidraçados zenitais que se aproximam do plano vertical, o tratamento deverá ser idêntico ao que foi anteriormente descrito, consoante a orientação solar. Todavia, como se localizam em locais de difícil acesso, é aconselhável que o vão, assim como o sistema de sombreamento, sejam passíveis de ser operados à distância (manual ou mecanicamente).

Sabendo a orientação do envidraçado e conhecendo o movimento diário do sol, é possível obter uma previsão da quantidade de radiação solar que lhe será incidente nas diferentes estações do ano. Na Figura 2.29 é apresentada a variação ao longo do dia da radiação solar incidente numa janela com as diferentes orientações, nas estações de Verão e Inverno, em Portugal.

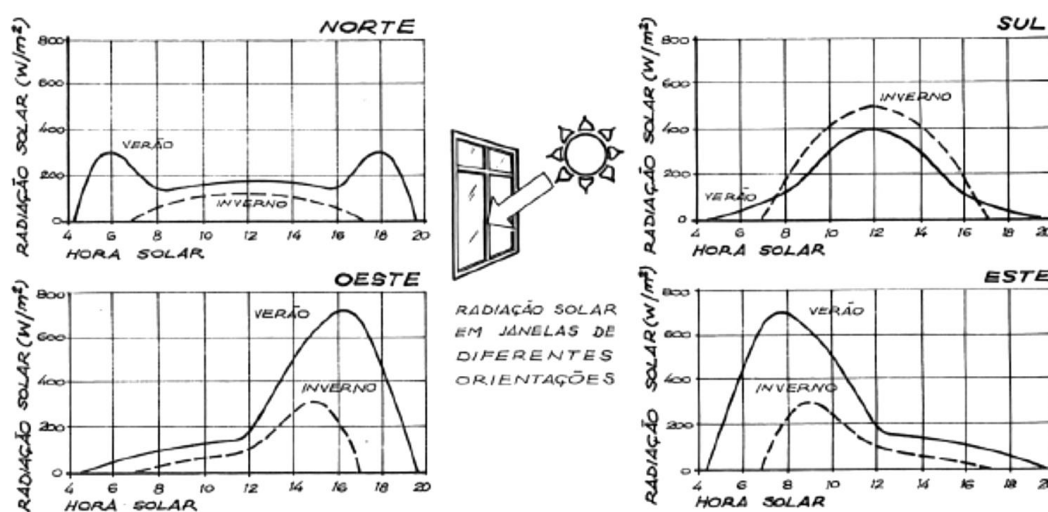


Figura 2.29 – Variação da radiação solar global em janelas verticais de diferentes orientações, nas diversas horas do dia, para 40° latitude Norte [26]

A **escolha e especificação do vidro** deve ser criteriosa, no sentido em que, deve ser feita com base numa análise de todas as suas propriedades, características, vantagens e desvantagens. De toda a radiação total incidente num envidraçado, uma parte é transmitida instantaneamente para o interior, outra é refletida para o exterior e uma terceira parte é absorvida pelo próprio vidro. Da radiação absorvida, que representa a energia acumulada no vidro, há ainda uma parcela que vai ser emitida para interior e uma outra para o exterior, devido a fenómenos de convecção e radiação. A decomposição da radiação solar incidente num envidraçado divide-se assim em 3 parcelas: transmitida, refletida e absorvida. Na Figura 2.30 está representada esquematicamente a decomposição da radiação incidente num envidraçado.

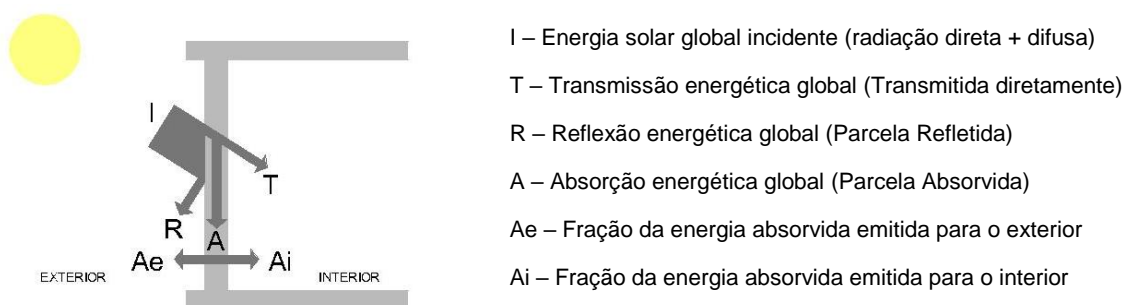


Figura 2.30 - Decomposição da radiação incidente num envidraçado (adaptado de [32])

De forma a evitar repercussões graves durante o funcionamento de um edifício, é fundamental definir corretamente em fase de projeto as **características do comportamento térmico e ótico do vidro**. Os parâmetros de maior interesse para um estudo deste tipo, são o fator solar (g_{\perp}), o coeficiente de transmissão térmica (U), o coeficiente de transmissão luminosa (t_v) e o coeficiente de reflexão luminosa (R_v), Coeficiente de Seletividade Espectral (CSE), de seguida apresentados.

O **fator solar do vidro (g_{\perp})** define a totalidade da radiação solar que é transmitida para o interior dos compartimentos. Este parâmetro considera como ganhos de calor pela radiação solar a soma de duas parcelas, a radiação transmitida diretamente (T) e a radiação absorvida e reenviada para o interior (A_i), representadas na Figura 2.30 [33]. O fator solar de um envidraçado representa assim o quociente entre a energia solar transmitida para o interior, através do envidraçado, e a energia da radiação solar total incidente. A equação 2 traduz exatamente essa definição:

$$g_{\perp} = \frac{\text{Ganho de calor solar através do vidro}}{\text{Radiação incidente}} = \frac{T + A_i}{I} \quad (2)$$

Onde:

- I – Radiação solar incidente;
- T – Transmissão energética global (Transmitida diretamente);
- A_i – Fração da energia absorvida emitida para o interior.

O fator solar do vidro indica a fração da energia solar que efetivamente atravessa o envidraçado e é transmitida para o interior do edifício. Assim, quanto menor for o fator solar do vidro, menor será a quantidade energia através deste. Por outro lado, o g_{\perp} é condicionado pelo ângulo de incidência solar, condições de convecção natural pelo exterior, velocidade do vento e espessura do vidro. No mercado é comum encontrar fatores solares para os vidros que variam entre 0,10 (vidro duplo de cor azul com controlo solar) e os 0.90 (vidro simples claro) [33].

O **coeficiente de transmissão luminosa (t_v)** representa a percentagem da luz visível que é transmitida para o interior do edifício, através do vidro. Vidros com um elevado coeficiente de transmissão luminosa são vidros com um aspeto transparente e que proporcionam ao utilizador uma boa iluminação natural, permitindo vistas para o exterior inalteradas. Vidros com um reduzido coeficiente de transmissão luminosa são geralmente usados quando se verifica a existência de problemas de encandeamento graves. Por outro lado, ao não permitirem a entrada de luz visível, criam ambientes interiores com iluminação natural insuficiente, principalmente, em condições meteorológicas de baixa radiação solar. Assim, o vidro com um reduzido coeficiente t_v é inadequado para a maior parte das aplicações de iluminação natural, uma vez que não permitem a entrada de luz natural suficiente para um correto e adequado desempenho de tarefas visuais típicas, havendo quase sempre a necessidade de utilização da iluminação artificial para complementar períodos diurnos. Em termos práticos, os valores dos fatores de transmissão luminosa podem oscilar entre os 5% (vidro duplo de cor azul) e os 91% (vidro simples claro) [33].

O **coeficiente de reflexão luminosa (r_v)** expressa a capacidade de um determinado vidro se comportar como um espelho. Este coeficiente do vidro representa a parte visível da radiação incidente no vidro que é refletida para o exterior. Um vidro com elevado coeficiente r_v permite, no horário diurno, uma boa visão do interior para o exterior e refletância do exterior do edifício. No período de noite, estas características invertem-se. Todos os vidros lisos são refletivos, embora seja possível efetuar vários tratamentos de forma a aumentar essa refletância, tais como, a deposição superficial de filmes metálicos. Vidros com elevada refletância possuem uma reduzida transmitância, apresentadas desvantagens inerentes a esta propriedade (ambiente interior com reduzida luz natural). Em termos práticos, os valores

de reflexão luminosa podem ir dos 5% (vidro simples incolor) até aos 60%, com utilização de películas de proteção na superfície exterior do vidro [33].

A Seletividade Espectral refere-se à capacidade de um determinado material envidraçado responder de modo diferente a radiação de diferentes comprimentos de onda ou, por outras palavras, um vidro espectralmente seletivo ideal permite a transmissão abundante de luz visível e rejeita o calor associado à radiação infravermelha. A seletividade espectral é avaliada através do Coeficiente de Seletividade Espectral (CSE) que se define como sendo o quociente entre a transmitância visível e o fator solar, ou seja:

$$CSE = \frac{T_v}{FS} \quad (3)$$

Valores do CSE superiores a 1,2 indicam uma seletividade espectral crescente. Novos tipos de envidraçados, comercialmente disponíveis, possuem esta propriedade, permitindo que o controlo solar possa ser efetuado por vidros praticamente incolores. Um vidro com uma T_v relativamente elevada e um baixo FS indica que é espectralmente seletivo. Este tipo de vidros possuem uma camada de um filme fino (responsável pela seletividade espectral) e uma cor neutra ou levemente azul esverdeada.

O Coeficiente de transmissão térmica (U) representa um dos parâmetros mais importante num estudo que envolva fluxos de calor. No caso de um envidraçado, este coeficiente quantifica o fluxo de calor que o atravessa, provocado pela diferença de temperatura entre as zonas que separa, normalmente o interior e o exterior do edifício. Este coeficiente entra em consideração com os três mecanismos de transferência de calor: condução, convecção e radiação de grande comprimento de onda. Em termos físicos, o coeficiente de transmissão térmico, expresso em $W/m^2 \cdot ^\circ C$, representa o fluxo de calor (em Watt) por hora e por metro quadrado de envidraçado, considerando uma diferença de temperatura de $1^\circ C$ entre o interior e o exterior. O coeficiente de transmissão térmica é inversamente proporcional à resistência térmica (R). Assim, quanto maior for o coeficiente de transmissão térmica, menor será a sua resistência térmica (isolamento) isto é, maior será a quantidade de energia transmitida. O coeficiente de transmissão térmica (U) de todo o sistema de vão envidraçado depende do tipo de vidro, do material de caixilharia e das respetivas áreas, podendo ser determinado através da seguinte expressão [34]:

$$U = \frac{Ac \times U_c + A_v \times U_v + L_v \times \psi}{Ac + A_v} \quad [W/m^2 \cdot ^\circ C] \quad (4)$$

Onde:

- Ac – Área visível de caixilharia [m^2];
- U_c – Coeficiente de transmissão térmica do caixilho [$W/(m^2 \cdot ^\circ C)$];
- A_v – Área visível de vidro [m^2];
- U_v – Coeficiente de transmissão térmica do vidro [$W/(m^2 \cdot ^\circ C)$];
- L_v – Perímetro de vidro visível [m];
- ψ – Coeficiente de transmissão térmica linear [$W/(m \cdot ^\circ C)$].

A cor dos envidraçados afeta a aparência das vistas do exterior (vidros bronze tornam sombrios os dias de céu limpo, por exemplo) e a aparência das superfícies e objetos interiores. Os vidros com tonalidades fortes (bronze, verde escuros, etc.) podem alterar significativamente a aparência das cores no interior.

Existe uma correlação estreita entre a cor dos envidraçados e as suas propriedades fotométricas; de um modo geral quanto mais escura for a cor mais baixa será a transmissão da radiação visível e consequentemente maior poderá ter de ser o recurso à iluminação artificial.

Atualmente o mercado relativo a vãos envidraçados oferece um conjunto alargado de soluções aplicáveis em edifícios, para as mais variadas funções/finalidades e com diferentes valores característicos de coeficiente de transmissão térmica (U), fator solar (g_{\perp}) e fator de transmissão luminosa (t_v). As características de comportamento térmico e ótico do vidro são, para qualquer projetista, noções imprescindíveis à otimização e dimensionamento dos vãos envidraçados, na conceção de um edifício.

Tal como as características técnicas dos vidros, as **caixilharias** também sofreram uma grande evolução tecnológica ao longo dos últimos anos. A estanquicidade da caixilharia constitui uma das evoluções positivas, permitindo controlar, de forma eficaz, as trocas de calor e frio entre o interior e o exterior. Contudo, a estanquicidade obriga a definição de uma estratégia de ventilação natural, no sentido de garantir as renovações de ar, essenciais para a salubridade do ar interior (através de aplicação de caixilharia mais estanque, grelhas de ventilação, incorporadas no vão envidraçado, ventilação mecânica adequada). Atualmente as caixilharias mais frequentes no mercado são em alumínio, pvc e madeira.

A **seleção exigencial de um vão envidraçado**, de forma a obter um bom desempenho poderá passar pela análise dos seguintes parâmetros: permeabilidade ao ar, estanquidade à água, resistência e deformação ao vento, coeficiente de transmissão térmica, fator solar, coeficiente de transmissão luminosa, segurança contra incêndios (reação ao fogo), ventilação, segurança contra vandalismo e intrusão, e índice de redução sonora ponderado.

Em Portugal, o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação, com a portaria nº 349-B/2013 do Decreto-Lei n.º 118/2013, estabeleceu que, nenhum vão envidraçado da envolvente de qualquer edifício com área total superior a 5% da área útil de pavimento do espaço que serve, desde que não orientado a Norte (entre Noroeste e Nordeste), pode apresentar um Fator Solar (FS) correspondente ao vão envidraçado com o (s) respetivo (s) dispositivo (s) de proteção 100% ativo (s) que exceda os valores indicados no Quadro 2.6, função do tipo de inércia e da zona Climática de Verão (V1,V2,V3).

Quadro 2.6 – Exigências do fator solar máximo admissível [35]

Classe de Inércia Térmica	Fator solar máximo admissível		
	V1	V2	V3
Fraca	0,15	0,10	0,10
Média	0,56	0,56	0,50
Forte	0,56	0,56	0,50

Todavia, o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação, estabeleceu através da portaria nº379-A/2015 de 22 de Outubro, coeficientes de transmissão térmica superficiais máximos admissíveis para os vãos envidraçados em função da zona Climática de Inverno (I1,I2,I3), que constam no Quadro 2.7. O cumprimento dos requisitos previstos poderá ser avaliado tendo em conta o contributo de eventuais dispositivos de proteção, podendo basear-se no respetivo valor de U_{wdn} (coeficiente de transmissão térmica médio dia-noite do vão envidraçado).

Quadro 2.7 – Coeficientes de transmissão térmica superficiais máximos admissíveis para os vãos envidraçados em Portugal Continental e Regiões Autónomas [31]

Coeficientes de transmissão térmica superficiais máximos admissíveis para os vãos envidraçados (Portas e Janelas) – U_w [W/(m ² .°C)]		
I1	I2	I3
2,80	2,40	2,20

Dando resposta às necessidades de melhor caracterizar os vãos envidraçados e permitir assim também promover a melhoria do desempenho térmico dos vãos envidraçados, por vezes torna-se necessário recorrer a programas de cálculo automático que permitam quantificar as características térmicas dos vãos envidraçados de um edifício. Estes softwares facilitam a caracterização de determinadas características dos vãos envidraçados, isto porque permite contornar um problema que é a complexidade e a duração dos cálculos exaustivos, diminuindo também a probabilidade de erros. Atualmente, existem inúmeros programas de cálculo, entre eles destacam-se Wis e Window 7.4. Para a presente dissertação foi utilizado o software Window 7.4, de modo a obter alguma sensibilidade para caracterização de algumas propriedades relativas aos vãos envidraçados. Deste modo, tendo em atenção à exaustiva lista de vidros existente no mercado, foram selecionados algumas tipologias mais correntes de vãos envidraçados decorrentes na construção em Portugal, que serão abordadas no capítulo 4 (subcapítulo 4.2.3.).

3

SISTEMAS SOLARES PASSIVOS

3.1. CLASSIFICAÇÃO

A energia solar poderá ser aproveitada nos edifícios de distintas formas, realizando-se habitualmente a distinção entre sistemas passivos e ativos. Os sistemas solares passivos são aqueles em que as trocas de energia para aquecimento ou arrefecimento se fazem por meios naturais. Estes compreendem várias medidas e técnicas de aplicação prática que se classificam consoante a função a que se destinam, em aquecimento ou em arrefecimento. Os sistemas ativos têm necessidade de uma fonte de energia auxiliar, de modo a obter as condições desejadas nos edifícios. A classificação destes sistemas é representada no organograma que se segue.

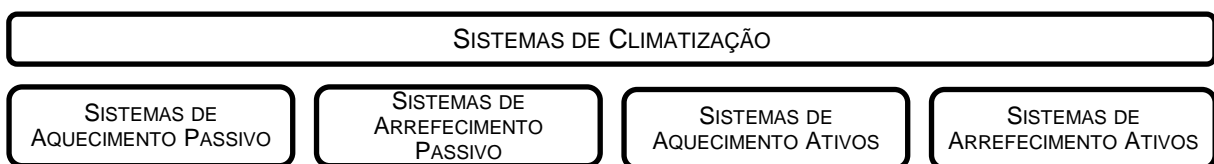


Figura 3.1 - Classificação dos sistemas de climatização nos edifícios em função dos tipos de aproveitamento energético [3]

Os **sistemas destinados ao aquecimento passivo** podem ser caracterizados como aqueles que, fazendo parte integrante da sua estrutura construtiva, desempenham o papel de coletores solares e acumuladores da energia solar neles incidentes e ainda de agente de distribuição da energia-calor por processos naturais de transferência [10].

Os sistemas de aquecimento passivo dividem-se segundo a forma como se dá o ganho energético, em ganho direto, ganho indireto e ganho isolado. O ganho direto de aquecimento ocorre através dos envidraçados dos edifícios estando o ganho dependente da dimensão destes e da exposição solar. O ganho indireto consegue-se através da captação da radiação solar por parte de uma massa térmica que atua como elemento acumulador de calor - o calor é cedido ao interior de forma controlada retardando e amortecendo as oscilações das temperaturas interiores. O ganho isolado tem esta denominação pelo facto dos ganhos solares se darem normalmente em zonas anexas à área habitável. No Quadro 3.1 apresentam-se as principais práticas de projeto que podem ser adotadas de forma a tirar o maior partido dos sistemas passivos de aquecimento.

Quadro 3.1 - Classificação dos sistemas de aquecimento passivo [3]

Sistemas de Aquecimento Passivo		
Diretos	Indiretos	Isolados
Janelas Solares	Paredes de Armazenamento Térmico	Estufas
Lanternim	Coberturas de Armazenamento Térmico	Sistemas de Termossifão
Claraboia	Pavimentos de Armazenamento Térmico	

Os **sistemas de arrefecimento passivo** baseiam-se em estratégias que visam utilizar as fontes frias existentes de forma a diminuir a temperatura no interior dos edifícios. A implementação de sistemas de arrefecimento passivo, permitem, durante as épocas quentes, alcançar condições ambientais de conforto, podendo atingir uma redução dos gastos energéticos em edifícios, podendo todavia ser dispensados totalmente e obter assim um ambiente de conforto, em climas sem Verões muito quentes, como é o caso de Portugal, essencialmente no Norte litoral. É de salientar que, na maior parte das zonas climáticas de Portugal, pela amenidade do clima, os edifícios de habitação, desde que corretamente concebidos, poderão não recorrer ao uso de sistemas mecânicos de arrefecimento. Os sistemas de arrefecimento passivos poderão ter eficácia maior se forem previstos aquando da conceção do edifício. Os sistemas de arrefecimento passivos classificam-se, tal como os de aquecimento, em diretos, indiretos e isolados. As práticas de projeto a adotar são apresentadas no quadro que se segue.

Quadro 3.2 - Classificação dos sistemas de arrefecimento passivo [3]

Sistemas de Arrefecimento Passivo		
Diretos	Indiretos	Isolados
Proteção Solar	Radiação Noturna	Ventilação a partir de Zonas Separadas
Ventilação	Ventilação dos Elementos de Armazenamento Térmico	
Construções Enterradas		
Evaporação		
Desumidificação		

3.2. SISTEMAS DE AQUECIMENTO PASSIVO – DIRETOS

No sistema de ganho direto, o espaço a aquecer dispõe de vãos envidraçados bem orientados por forma a possibilitar a incidência da radiação no espaço e nas massas térmicas envolventes (paredes e pavimentos). De notar que a construção corrente em Portugal tem em geral massa suficiente, sendo que uma boa orientação dos vãos conduz à utilização deste tipo de sistemas sem qualquer complexidade adicional [10].

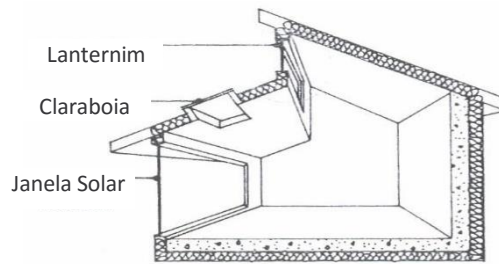


Figura 3.2 - Sistema de aquecimento passivo - ganho direto: tipos de coletores solares [36]

A principal função do coletor de ganho direto, representado na Figura 3.2, é captar a energia solar de forma a que seja absorvida e armazenada pelos elementos, dentro do espaço de ganho direto. Há três tipos básicos de coletores: janelas solares, lanternins e claraboias. De modo a que o funcionamento do sistema de aquecimento passivo (referente ao ganho direto) se torne eficiente, alguns critérios deverão ser cumpridos, tal como:

- Correta orientação da janela, de preferência a Sul, de modo a evitar que as perdas superem os ganhos no Inverno; variações até 15° Este ou Oeste, não afetam significativamente o desempenho térmico. Uma ligeira orientação Sudeste poderá ser desejável para permitir os efeitos benéficos do nascer do Sol no espaço habitável. As janelas a sul admitem os raios solares com baixos ângulos de incidência no Inverno e, no Verão, a elevada altura do Sol reduz a transmissão de radiação através do envidraçados – podendo uma pala sombreadora excluí-la completamente;
- Área transparente do coletor em proporção com a capacidade de armazenamento térmico;
- O vidro duplo é um requisito recomendável para a maioria dos climas. O uso de vidro de alto desempenho, com membranas de baixa emissividade, lâmina de gás, películas plásticas em suspensão (que criam o efeito de “vidro-triplo”) pode justificar-se, mesmo em climas moderados;
- Inclusão de dispositivos de sombreamento, como prevenção de sobreaquecimento no Verão;
- Aplicação eficiente de isolamento térmico nos elementos opacos, de isolamento noturno móvel e posicionamento de zonas tampão, de forma a promover a redução das perdas de calor. As massas térmicas irão estabilizar as condições interiores, levando à atenuação da amplitude térmica no interior dos edifícios. Quanto maior for a massa térmica, menor será essa variação, havendo maior dificuldade em aquecer o edifício. Sendo assim, terá que existir um equilíbrio entre massa térmica, isolamento e área de vãos, dependendo bastante do tipo de edifício e localização do mesmo. Durante o dia, a massa térmica absorve o calor decorrente da incidência direta da radiação solar e, durante a noite, esta devolve - o ao espaço.

Os envidraçados e a devida correspondente capacidade interior de acumulação térmica são elementos fundamentais no contributo quer da energia solar, para o aquecimento do ambiente quer da iluminação natural para evitar altos custos de iluminação artificial. A sua orientação a sul e o seu correto dimensionamento são fatores decisivos. O Quadro 3.3, apresenta a relação, entre temperatura média exterior no estação fria e área de vidro necessária para cada m² de superfície, recomendada para o

dimensionamento dos envidraçados. Torna-se perceptível, que para temperaturas médias exteriores na estação fria mais baixas, são exigidas maiores áreas de vidro por cada m² de pavimento.

Quadro 3.3 - Dimensionamento recomendado para envidraçados [26]

Temperatura media exterior na estação fria (°C)	Área de vidro necessária para cada m ² de superfície de pavimento
- 4	0,32
- 1	0,28
+ 2	0,24
+ 5	0,20
+ 8	0,16

3.2.1. JANELAS SOLARES

As janelas solares são envidraçados de ganho direto, com orientação preferencial a Sul, usando métodos de construção convencionais. A caixilharia que geralmente apresenta os melhores resultados nas janelas solares são: caixilharia de alumínio com corte térmico, de madeira e de PVC. Estas janelas podem ser verticais ou levemente inclinadas para maximizar a quantidade de radiação solar. As janelas inclinadas são mais difíceis de instalar e podem requerer vidro temperado, para além de que pode ser difícil de requerer o seu eficiente sombreamento, podendo originar problemas de sobreaquecimento durante a estação de arrefecimento. Nas janelas solares, os ganhos energéticos estão em função da orientação, inclinação e tipo do material translúcido utilizado. No Inverno, para conseguir um máximo de radiação solar incidente deve-se orientar o sistema captador a Sul. Desvios de 15° a Este e Oeste não ocasionam variações significativas.

Nas janelas solares poderá optar-se por vidros simples, duplos ou triplos em casos especiais. Se considerarmos o vão envidraçado orientado a Este, Oeste ou mesmo Norte, o vidro duplo constitui a melhor solução, visto que diminui as perdas de calor do edifício.

O vidro translúcido, ou seja de transparência solar mais reduzida, é mais vantajoso relativamente ao vidro transparente (Figura 3.3). O vidro translúcido difunde a radiação direta, evitando os encadeamentos por luminosidade excessiva e ativando a massa de acumulação térmica do teto.

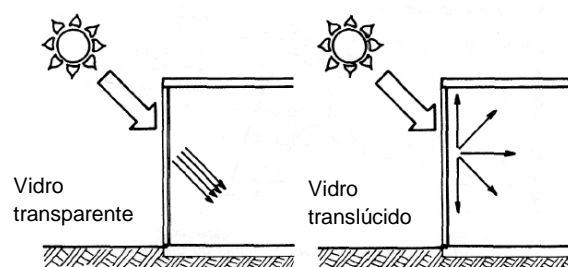


Figura 3.3 - Sistema Ganho Direto – tipos de vidro [26]

Com o objetivo de amortecer as oscilações de temperatura, o calor deverá ser armazenado numa massa térmica situada dentro do espaço que recebe a radiação diretamente. As superfícies que recebem diretamente a radiação solar são ligeiramente mais efetivas que as que a recebem por reflexão. Como regra geral, para a generalidade dos materiais pesados, é essencial uma superfície mínima igual a três

vezes a superfície de captação e é recomendável um valor de 6 a 9 vezes para conseguir uma oscilação térmica moderada. Esta oscilação de temperatura não deverá ultrapassar os 6°C, para permitir manter uma situação de conforto [37].

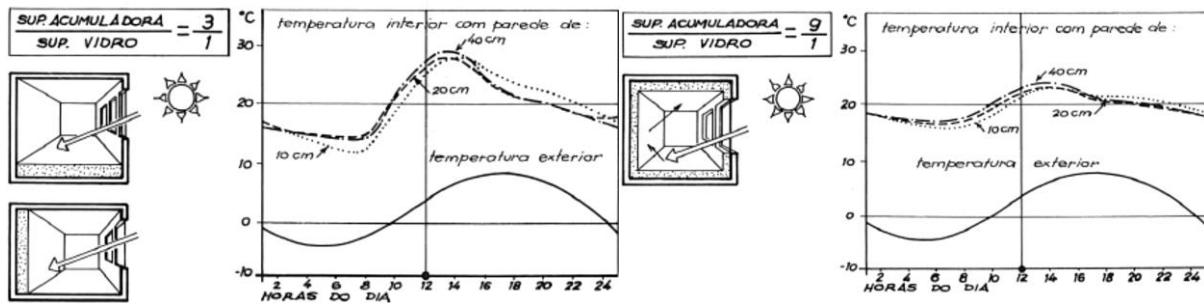


Figura 3.4 – Capacidades de armazenamento térmico de dois compartimentos diferentes, com vãos envidraçados orientados a Sul e expostos à radiação solar direta num dia de Inverno [26]

Pela observação da Figura 3.4, é perceptível que no caso da superfície acumuladora ser três vezes superior à superfície do vidro, não existem diferenças significativas da temperatura diária interior nas três espessuras de paredes representadas (10cm, 20cm e 40cm), sendo a amplitude de aproximadamente 14 °C. No caso da superfície acumuladora ser nove vezes superior à superfície do vidro, também não existem diferenças significativas da temperatura diária interior, mas a sua amplitude é mais baixa que o caso anterior (de aproximadamente 7 °C). Daqui podemos concluir que quanto maior a diferença da relação superfície acumuladora/superfície de vidro, menor será a amplitude da temperatura diária interior.

A superfície da massa térmica deverá estar exposta à radiação solar, diretamente ou por reflexão. A radiação solar direta pode-se difundir por toda a superfície da massa térmica situada dentro do espaço, utilizando vidros ou polímeros translúcidos ou refletindo a radiação solar sobre uma superfície clara que a espalhará por todas as superfícies. Quanto mais clara é a cor da superfície interior maior é o número de reflexões no interior do compartimento, antes da radiação solar ser absorvida. Estas múltiplas reflexões tendem a distribuir o calor e a luz mais uniformemente por todo o interior, mas deverão ser tidas em atenção as perdas pelos envidraçados. Deste modo, a envolvente do espaço interior deverá ser constituída por materiais compactos, com grande capacidade de armazenamento térmico, e as suas superfícies deverão ter um elevado poder de absorção da radiação solar. A cor do pavimento (se este é pesado) deverá ser escura para otimizar a sua eficácia de forma a manter calor armazenado no nível mais baixo possível, reduzindo assim a tendência de estratificação térmica e aumentando o nível de conforto. Só deste modo se conseguirá que após o pôr-do-sol o material comece a libertar o calor armazenado e o aquecimento do ar se faça sobretudo por convecção natural.

3.2.2. LANTERNINS

Um lanternim é uma abertura vertical ou com significativa inclinação, localizada no plano da cobertura. É um sistema que dirige direta e eficazmente a radiação solar a uma parede de armazenamento térmico, podendo esta estar localizada na fachada Norte do edifício, conseguindo deste modo fazer penetrar a radiação solar a uma maior profundidade no edifício. O seu principal inconveniente é apenas ser eficaz em edifícios com poucos pisos, ou nos últimos pisos do edifício, já que as aberturas se localizam na cobertura. Uma forma de repartir a radiação de forma mais uniforme em grandes áreas cobertas, é a

implementação do lanternim de cobertura em dente de serra. Na Figura 3.5 estão representados o lanternim em plano vertical e lanternim de cobertura em dente de serra.



Figura 3.5 – Corte esquemático de lanternim: em plano vertical (à esquerda) e de cobertura em dente de serra (à direita).

A utilização de planos não verticais, mas inclinados em função da latitude (perpendiculares aos raios solares no Inverno) é perfeitamente viável e pode ser vantajosa para otimizar os ganhos. No caso de lanternim com recurso a planos inclinados, o teto adjacente ao lanternim deve ter cor clara para refletir a luz do Sol em direção aos elementos de armazenamento interiores. Estes devem estar colocados em frente a uma parede de armazenamento térmico a uma distância, aproximada, de 1 a 1,5 vezes a altura dessa parede, como representado na Figura 3.6.

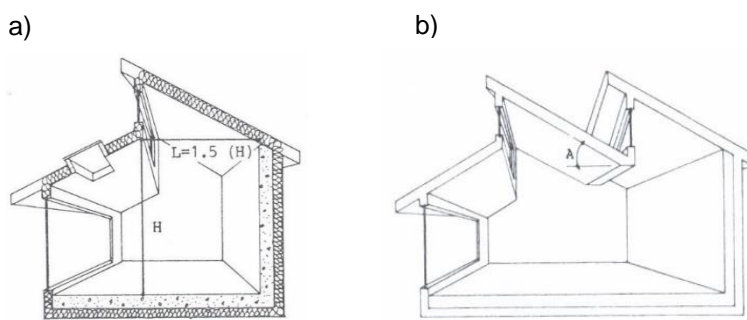


Figura 3.6 – Lanternim: a) distância do lanternim à parede de armazenamento, b) Ângulo de inclinação [36]

3.2.3. CLARABOIAS

Uma claraboia (Figura 3.7) é uma superfície envidraçada ou em plástico transparente ou translúcido, horizontal, em forma poliédrica, cônica ou semi-esférica (neste caso geralmente em policarbonato), colocada sobre coberturas planas ou pouco inclinadas e neste último caso acompanhando ou não a inclinação da cobertura.



Figura 3.7 – Corte esquemático de claraboia em plano horizontal

As claraboias são, por vezes, os coletores solares menos eficazes, dado o seu posicionamento horizontal. Estas recebem menor radiação solar durante o Inverno, quando “o Sol está baixo” e as necessidades de aquecimento são maiores, enquanto que, no Verão, quando o aquecimento solar deve ser evitado, recebem a radiação solar máxima. Devido às suas relativamente baixas propriedades de isolamento, as claraboias podem, também, tornar-se áreas mais significativas para a transmissão do excesso de calor para o exterior, do que em coberturas bem isoladas. Adicionalmente, o uso de refletores, como exemplificado na Figura 3.8, para potenciar a quantidade de radiação solar que incide no coletor na estação de aquecimento e sombreamento para reduzir o aquecimento solar na estação de arrefecimento, são opções que melhoram o desempenho da claraboia.

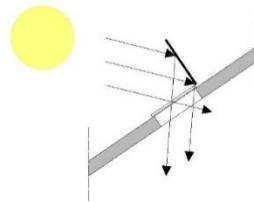


Figura 3.8- Claraboia em plano inclinado com sistema refletor

Os isolamentos móveis para prevenir perdas de calor à noite são muito eficazes em climas extremos ou quando não estejam especificados envidraçados de alto desempenho. A claraboia em plano horizontal sem refletor e sombreador incorporado é caracterizada como um sistema de captação de energia solar térmica ineficaz e mais propriamente no clima Português, não permitindo ganhos de Inverno, mas originando ganhos excessivos de Verão, sendo este o principal problema dos sistemas de ganho direto em geral.

3.3. SISTEMAS DE AQUECIMENTO PASSIVO – INDIRETOS

Nos sistemas aquecimento passivo de ganho indireto a radiação solar incide sobre uma massa térmica colocada entre o Sol e o espaço a aquecer. A massa térmica absorve a energia solar nela incidente, sendo posteriormente transferida para o espaço. Esta transferência pode ser imediata ou desfasada, conforme a estratégia de circulação (ou não) do ar que for adotada. [10]. A radiação absorvida pela massa é transformada em energia térmica e é transferida para o interior do edifício. Nestes sistemas, é possível verificar um desfasamento da onda de calor transmitida para o espaço e o ciclo da radiação solar. Assim, os espaços onde estes sistemas se implementam, tiram proveito do desfasamento e recebem a energia absorvida durante o dia no final da tarde e início da noite, variando consoante o edifício e consoante a sua utilização. Como o espaço a condicionar não recebe diretamente a radiação solar, os sistemas de ganho indireto oferecem mais possibilidade de controlo das oscilações de temperatura, evitando sobreaquecimentos.

Nos sistemas de ganho indireto incluem-se as paredes, coberturas e pavimentos de armazenamento térmico. A principal diferença entre estes três sistemas é a localização da massa térmica.

3.3.1. PAREDES DE ARMAZENAMENTO TÉRMICO

As paredes de armazenamento térmico são constituídas, essencialmente, por um pano simples ou duplo de vidro no exterior, uma caixa-de-ar e um elemento de armazenamento, a parede, onde podem ser colocadas aberturas para circulação de ar. O elemento confinador é um pano de parede simples, composto de materiais densos como a pedra, o betão, a terra compactada, o tijolo ou outro tipo de material com boa capacidade de armazenamento térmico. A face exterior dessa parede deverá ser de cor escura, aumentando assim a absorção da radiação incidente. A sua espessura deve variar em função das propriedades do material (densidade, calor específico e condutibilidade térmica) e do desfasamento pretendido. Cria-se assim um sistema no qual predomina o efeito de estufa, atingindo-se temperaturas muito elevadas (30°C a 60°C) no espaço entre o vidro e a parede de armazenamento [10].

A seleção do material para construção da parede acumuladora da parede de Trombe deve portanto ter em consideração as suas características térmicas; estas são determinadas em função de quatro propriedades físicas do material que convém analisar: **densidade ou massa volúmica, condutibilidade térmica, calor específico e capacidade calorífica**. A densidade permite saber o grau de concentração de massa em determinado volume, enquanto a condutibilidade térmica quantifica a capacidade dos

materiais em conduzir o calor, o que significa que materiais com elevada condutibilidade térmica conduzem calor de forma mais rápida do que os materiais com baixa condutibilidade térmica. Esta propriedade é específica de cada material, e depende fortemente da temperatura, uma vez que os materiais se tornam melhores condutores de calor com o aumento da temperatura. A condutibilidade térmica equivale a quantidade de calor transmitida através de uma determinada espessura, numa direção normal à superfície do material, quando ocorre uma variação de temperatura. O calor específico é uma grandeza física que define a variação térmica de um material ao receber determinada quantidade de calor. Finalmente, a capacidade calorífica permite determinar o calor que é necessário fornecer a um material para induzir neste uma determinada variação de temperatura. Em suma, para que a inércia térmica de um material seja eficaz, é necessário que este apresente uma capacidade calorífica ou térmica elevada, condutibilidade térmica e densidade moderadas e também elevada emissividade. Partindo deste pressuposto, os materiais que devem ser mais utilizados na constituição do elemento acumulador da parede de Trombe são o betão, a pedra, o tijolo maciço, a terra armada ou os blocos de adobe e a água. No Quadro 3.4 apresentam-se os valores da massa volúmica, do calor específico e da capacidade calorífica de alguns materiais utilizados na construção.

Quadro 3.4 - Massa volúmica, calor específico e capacidade calorífica de diferentes materiais [38]

Material	Massa Volúmica (Kg/m ³)	Calor Específico (KJ/kg.K)	Capacidade Calorífica (KJ/m ³ .K)
Água	1000	4,186	4186
Betão	2240	0,92	2060
Tijolo	1700	0,92	1360
Pedra	2000	0,90	1800
Adobe	1550	0,837	1300
Terra armada	2000	0,837	1673
Blocos de terra comprimida	2080	0,837	1740

O dimensionamento da parede de Trombe e a otimização do seu desempenho são função das características inerentes a cada um dos seus constituintes e ao seu conjunto. Por um lado é fundamental o conhecimento das capacidades de armazenamento térmico do material que constitui a parede acumuladora, no sentido de se definir o material mais adequado ao edifício em causa e as características climáticas do local de implantação, bem como a espessura necessária para se obter o desfasamento ideal entre o período de acumulação e de libertação de calor para o interior do compartimento.

Outro parâmetro influenciador no dimensionamento da parede acumuladora é o volume do compartimento. O Quadro 3.5, apresenta a área de parede de captação em função da superfície do compartimento e das temperaturas médias exteriores na estação fria. Por observação do quadro, pode constatar-se que, por exemplo, para uma temperatura exterior de 2°C são necessários 0,4 a 0,6 m² de área de parede de trombe por cada m² de superfície do compartimento. Assim, um compartimento de 10 m² de área de pavimento necessita de 4 a 6 m² de área de parede de Trombe. Outra conclusão a retirar é o facto de a parede de água necessitar de áreas menores.

Quadro 3.5 – Área de parede de captação em função da superfície do compartimento e das temperaturas médias exteriores na estação fria [26]

Temperatura média exterior na estação fria (°C)	Área de parede, em metros quadrados, necessária por cada metro quadrado de superfície do compartimento	
	Parede Maciça	Parede de água
-4	0,6-0,9	0,4-0,7
-1	0,5-0,7	0,35-0,55
2	0,4-0,6	0,25-0,45
5	0,3-0,45	0,2-0,35
8	0,25-0,35	0,15-0,25

A caixa-de-ar existente entre o vidro e a parede acumuladora é outro dos componentes que afeta o desempenho da parede de Trombe. As diversas características inerentes ao espaço de ar devem ser analisadas e otimizadas caso a caso. A espessura e a altura da caixa-de-ar e o tipo de superfícies da parede acumuladora e do envidraçado que delimitam o espaço de ar são fatores influenciadores das temperaturas atingidas no interior da mesma, do calor armazenado na parede acumuladora, e consequentemente das temperaturas obtidas no compartimento. Os valores da espessura da caixa-de-ar influenciam a transmissão de calor para o interior do compartimento, quer por condução através da parede de massa elevada, quer por convecção através das aberturas de ventilação. Partindo deste pressuposto, a espessura deste elemento deve ser escolhida de tal forma que permita aumentar a quantidade de calor que aí se acumula, conduzindo ao aumento dos ganhos, e à diminuição das perdas de calor. No entanto, o intervalo de variação desta espessura é bastante variável, o que pode ser devido ao facto de, tal como nos restantes constituintes da parede de Trombe, ser necessário ajustar as suas dimensões em função das condições climáticas e do comportamento pretendido para este sistema passivo. Para além da espessura, também a altura da caixa-de-ar influencia a circulação do ar e a respetiva velocidade. A rugosidade e a cor das superfícies que delimitam o canal de ar são características que não devem ser descuradas uma vez que condicionam igualmente a transferência de calor no sistema.

A cor e a textura da superfície exterior da parede acumuladora são características influenciadoras da capacidade de absorção do calor da massa térmica de um material. Certas cores refletem mais radiação solar e absorvem menos do que outras, ou seja, se uma superfície exterior for pintada de tal forma que a sua emissão na região de ondas longas seja elevada, então o fluxo de calor que chega ao interior do edifício diminui consideravelmente. Um material, cuja superfície seja pintada de preto absorve mais calor que uma pintada de branco e o seu efeito na temperatura de um compartimento pode resultar num aumento de temperatura entre 2°C e 3°C. [39] Superfícies de cor mate, como é o caso das paredes de tijolo, apresentam uma superfície com maior absorção da radiação solar, enquanto superfícies brilhantes absorvem menos calor.

A parede de trombe deve também incluir dispositivos de sombreamento (por exemplo estores e palas) de modo a evitar o sobreaquecimento do compartimento no Verão e funcionando no Inverno como dispositivo de oclusão noturno para reduzir as perdas para o exterior durante a noite, mas deixando o sistema funcionar livremente durante o dia.

As paredes acumuladoras localizadas em fachada que serão descritas na presente dissertação serão: a parede trombe não ventilada, a parede trombe ventilada e a parede de água.

A **parede de trombe não ventilada**, representada na Figura 3.9 e Figura 3.10, é uma parede de armazenamento térmico sem aberturas de termocirculação. O aquecimento processa-se por ação direta da radiação solar que atravessa o vidro e incide na parede cuja superfície deve ser de cor escura. Devido às altas temperaturas que se geram, desenvolvem-se fluxos de calor por condução que atravessam a parede, até ao interior. A transferência de calor é feita lentamente sendo este acumulado na parede durante o dia e gradualmente libertado durante a noite. No período noturno é indispensável a utilização de um sistema de oclusão que minimize as perdas de calor. As proteções exteriores são essenciais para eliminar os períodos de sobreaquecimento no Verão e para diminuir as perdas para o exterior durante a noite, no Inverno, quando as temperaturas exteriores diminuem.

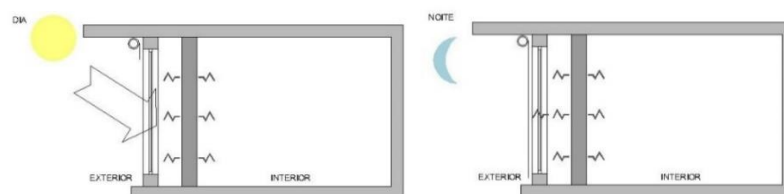


Figura 3.9 - Parede não ventilada no Inverno: durante o dia (à esquerda) e durante a noite (à direita)

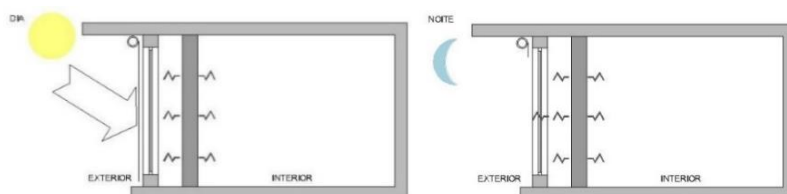


Figura 3.10 - Parede não ventilada no Verão: durante o dia (à esquerda) e durante a noite (à direita)

A face exterior da parede acumuladora com efeito de estufa deverá ser de cor escura de modo a captar melhor a energia solar, e geralmente orientada a Sul. Esta é rematada com um vidro ou outro material transparente ou translúcido, com afastamento aproximado de 5cm a 20cm, de modo a evitar a perda da radiação térmica que vai sendo ganha pela exposição solar durante o dia e potenciar o efeito de estufa[3]. Os materiais densos que poderão compor a parede acumuladora são a pedra, o betão, a terra compactada, o tijolo ou outro material com boa capacidade de armazenamento térmico. A utilização duma pintura de tipo seletivo permite a redução das perdas térmicas da parede por radiação de comprimento de onda longo. O tipo de material e a espessura determinam a capacidade da parede para armazenar e distribuir o calor no espaço a aquecer.[37]

A **Parede de Trombe Ventilada**, representada nas Figuras 3.11, 3.12, 3.13 e 3.14, é uma parede que funciona com um sistema combinado de radiação e convecção, com a aplicação de aberturas de termocirculação nas suas partes inferior e superior. Por efeito da radiação solar a parede é aquecida, sendo parte do calor captado pela parede e outra parte transferida ao ar encerrado entre o vidro e a parede. Posteriormente o calor absorvido pela parede é transmitido por convecção e condução aquando da abertura dos orifícios, ou apenas por condução, aquando do fechamento destes. A superfície ótima das aberturas de termocirculação está entre 0,5% e 3% da superfície total da parede de Trombe. As aberturas serão maiores quando o calor durante o dia é mais necessário (ganhos por convecção) [3]. O caudal de ar quente regula-se por persianas móveis situadas nas aberturas de termocirculação. Torna-se aconselhável dispor nos orifícios, redes mosquiteiras, de modo a prevenir a entrada de insetos, bem como dispor duma válvula (geralmente uma lâmina de polietileno) nas aberturas superiores para evitar

que a parede de Trombe inverta o sentido de circulação do fluxo de ar durante a noite, arrefecendo assim o espaço interior [37].

No Inverno, durante o dia, os orifícios de ventilação apenas deverão ser abertos, quando a temperatura no espaço de ar excede a temperatura do compartimento e seja necessário o aquecimento. Enquanto que, durante a noite, no Inverno, de modo a reduzir as perdas de calor, o eventual dispositivo de oclusão noturno deverá estar fechado, bem como os orifícios de ventilação.

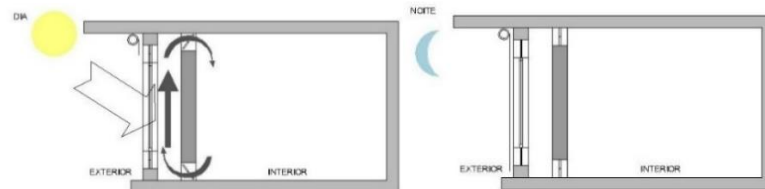


Figura 3.11- Parede de trombe ventilada no Inverno: durante o dia (à esquerda) e durante a noite (à direita)

No Verão, durante o dia, os orifícios de ventilação devem permanecer fechados e deverá ser previsto o sombreamento do sistema, tendo em atenção que, quanto mais opaco for o dispositivo de sombreamento menores serão os ganhos solares, e quanto mais clara for a superfície deste elemento, maior será a energia refletida. Desta forma poderão ser eliminados os efeitos de sobreaquecimento inerentes a este período do ano. No Verão, durante a noite, para facilitar o arrefecimento da parede, devem ser abertos os orifícios de ventilação no envidraçado e fechados os existentes na parede acumuladora. O dispositivo de oclusão deve permanecer aberto.

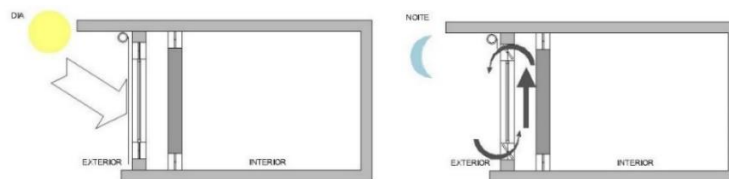


Figura 3.12 - Parede de trombe ventilada no Verão: durante o dia (à esquerda) e durante a noite (à direita)

No verão, durante o dia, a parede de Trombe duplamente ventilada pode também funcionar como bomba de calor de ar quente, favorecendo a ventilação do edifício. Para isso, o orifício superior da parede acumuladora deve estar fechado e o orifício superior do envidraçado deve estar aberto, tal como se mostra na Figura 3.13. Assim, o ar quente do interior do edifício é absorvido pela baixa pressão criada na caixa-de-ar associada a aberturas existentes na fachada oposta, a Norte, para permitir entrada de ar frio.

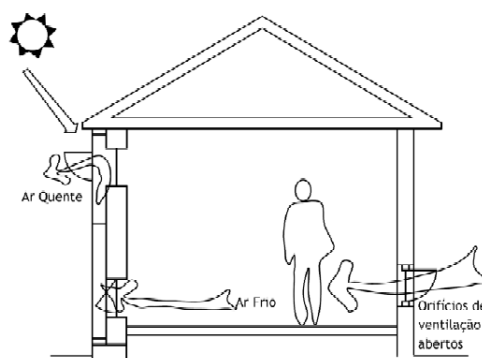


Figura 3.13 - Parede de trombe ventilada funcionando com bomba de ar quente, durante o dia no Verão[40]

No Outono e Primavera, durante o dia, a abertura superior da parede de armazenamento e a abertura inferior do envidraçado deverão estar abertas. Enquanto, durante a noite, no Inverno, de modo a reduzir as perdas de calor, o eventual dispositivo de oclusão noturno estará fechado, bem como os orifícios de ventilação.

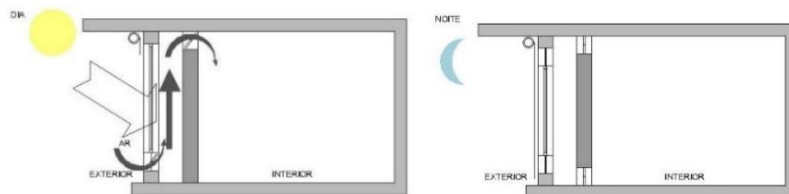


Figura 3.14 - Parede de trombe ventilada na Primavera/Outono: durante o dia (à esquerda) e durante a noite (à direita)

As paredes de água são semelhantes às parede de trombe consistindo neste caso numa massa de água geralmente contida em recipientes de cor escura com a vantagem da transferência de calor se dar mais rapidamente. Este sistema incorpora, normalmente, um isolamento móvel utilizado nas noites de Inverno para reduzir as perdas de calor do interior e durante o dia no Verão com a finalidade de evitar ganhos solares excessivos. Este sistema é basicamente o mesmo que uma parede de armazenamento, sendo que o material de armazenamento, ao invés de ser um material construtivo como betão ou argamassa, é a água. Porém, além de água podem ser utilizados outros líquidos, bem como diferentes tipos de reservatórios. A Figura 3.15 representa o funcionamento de uma parede de água com tambores.

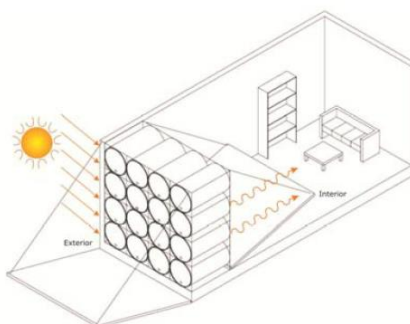


Figura 3.15 - Funcionamento de uma parede de água com tambores [41]

A parede de água, não isolada, caracteriza-se por ter uma transferência de calor muito rápida, requerendo assim um controle adicional da distribuição de calor no interior do espaço a aquecer; isolando assim a armazenagem de calor durante o dia e retirando este isolamento à noite. Este controle também poderá ser conseguido através da espessura e dimensão dos contentores utilizados. Assim, os pequenos depósitos têm, para um volume de água total igual, uma superfície de troca com o ambiente maior que os grandes depósitos e portanto uma libertação de calor mais rápida. Deste modo, poderemos afirmar que não existirá uma espessura ideal para uma parede de água, dado que não existe uma relação clara entre a espessura utilizada e o rendimento que se pretende obter. No entanto, a partir dos 15cm de espessura, o incremento da eficácia não é significativo comparado com o sobrecusto e a perda de espaço habitável que implica. [3] Um dos inconvenientes apontados aos sistemas de paredes de água apresentam é o possível perigo de derrame da água depositada e também do ruído ocasionado pela água ao dilatar sobre as paredes dos depósitos.

Outro sistema possível de parede de água é o “Transwall”, representada na Figura 3.16, que consiste em duas placas de vidro com água no interior, podendo ser inserido no sistema uma terceira placa de vidro pintada e absorvente.[3]

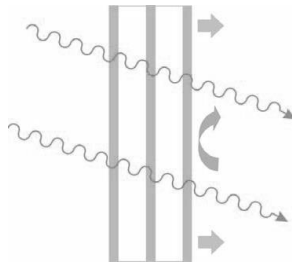


Figura 3.16 - Esquema de funcionamento da parede de água. Sistema Transwall [42]

3.3.2. COBERTURAS DE ARMAZENAMENTO TÉRMICO

As **coberturas de armazenamento térmico** (Figura 3.17) incluem uma massa de água exposta à radiação solar sobre a cobertura, com o objetivo de absorver e armazenar calor. É frequente, a água ser colocada em recipientes, sobre os quais se coloca uma cobertura plástica. Na parte interior da cobertura é colocada uma chapa metálica, com um tratamento anti-humidade, com o intuito de criar condições favoráveis à transmissão de calor para o interior, por radiação. Todavia, o pé-direito deverá ser o mínimo possível, devido à intensidade da radiação decrescer rapidamente com a distância, podendo, caso contrário, a estratificação do ar limitar o conforto, devido à distribuição de calor desta.

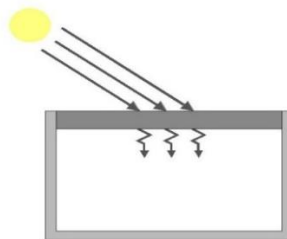


Figura 3.17 - Cobertura de água

O sistema de cobertura de água dispõe usualmente dum isolamento móvel, necessário para reduzir no Inverno as perdas de calor não desejadas durante a noite e evitar, no Verão, os ganhos solares excessivos durante o dia. Nos dias de céu limpo de Inverno a água absorve a energia solar, cedendo uma parte ao ambiente interior e armazenando o resto. Durante a noite, a cobertura de água com isolamento móvel irradia calor armazenado durante o dia. Durante os dias quentes de Verão, o isolamento móvel é utilizado para impedir que a radiação solar aqueça a água. Nestas condições a água está mais fria que o ambiente interior e produz-se uma refrigeração deste por transferência de calor para a massa de água. Durante a noite o isolamento móvel é retirado e a água refrigera-se ao irradiar o calor armazenado para o exterior [37].

3.3.3. PAVIMENTOS DE ARMAZENAMENTO TÉRMICO

Os pavimentos de armazenamento térmico (Figura 3.18) são compostos por um elemento acumulador, caracterizado normalmente por um depósito de pedras ou água e colocado por baixo do pavimento do compartimento a climatizar. Sobre a fachada Sul é colocado um sistema de captação solar, com um vidro exterior proporcionando efeito de estufa. A energia solar passa desde a superfície de captação até ao interior do depósito por convecção natural do ar ou da água. A transmissão de energia para o ambiente interior, no caso mais direto, faz-se desde o solo, por condução e radiação de onda longa, produzindo-se um certo atraso e amortecimento da oscilação da temperatura. Também se pode melhorar o

rendimento e o controlo do sistema, mediante um circuito de convecção forçada, fazendo passar o ar do interior pelo depósito de pedras, onde este aquece e assim se cede ao ambiente a energia térmica, mediante aberturas reguláveis [43].

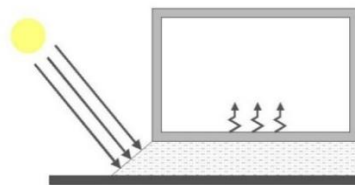


Figura 3.18 – Pavimento de armazenamento térmico

3.4. SISTEMAS DE AQUECIMENTO PASSIVO – ISOLADOS

Nos sistemas de ganho isolado, a captação dos ganhos solares e o armazenamento da energia captada não são realizadas em áreas habitáveis dos edifícios, operando de forma independente do edifício. Os espaços denominados por estufa, utilizam a combinação dos efeitos de ganho direto e indireto. Nestes sistemas, a energia solar é transmitida ao espaço adjacente à estufa por condução mediante a parede de armazenamento que os separa e ainda por convecção, no caso da existência de orifícios que permitam a circulação de ar [10]. Nos sistemas de aquecimento passivo relativos ao ganho isolado podemos incluir as estufas e os coletores de ar.

3.4.1. ESTUFAS

As estufas são sistemas cujos princípios térmicos são uma combinação dos que se verificam nos sistemas de ganho direto e indireto. Estes resultam num espaço fechado e coberto de vidro, contendo uma massa acumuladora térmica, geralmente o pavimento e a parede contígua ao compartimento que se pretende aquecer. Tendo em atenção a disposição da estufa, podem ser considerados vários tipos, tal como estufas adossadas e estufas integradas (Figura 3.19).

As **estufas adossadas** apenas partilham uma parede com a casa. Apresentam muita flexibilidade para a conceção arquitetónica, incluindo o aproveitamento solar passivo em edifícios já existentes, por exemplo permitindo cobrir terraços ou varandas existentes. Tanto podem ser aplicadas em paredes exteriores transparentes, como opacas, mas geralmente numa combinação das duas. As estufas adossadas com fachadas laterais e coberturas transparentes, devido à maior área envidraçada recolhem mais energia, contudo poderá existir o risco de sobreaquecimento, especialmente no Verão. As mudanças sazonais na altura e azimute da radiação solar podem resultar em importantes ganhos no verão em superfícies horizontais e em superfícies verticais orientadas a Este ou Oeste, bem como maiores perdas durante o Inverno pela superfície de envidraçado, tornando o balanço energético mais desfavorável, pelo menos para o clima temperado português. Devido a este fenómeno, as estufas adossadas são menos indicadas que as integradas.

A **estufa integrada** na habitação apresenta vantagens, tais como a redução das perdas térmicas da habitação e da estufa, pela redução da superfície exterior de envidraçado, a facilidade de transferência de calor da estufa para a habitação, pela maior superfície de ligação entre ambas, a possibilidade de construção de habitações mais compactas, com redução de custo. [37] Apesar de menos versáteis, já que se adequam menos a recuperações, as estufas integradas, quando previstas na conceção, fornecem uma variedade de possibilidades de ligações arquitetónicas e funcionais, entre a estufa e a casa. Do ponto de

vista do efeito tampão é possível uma maior poupança de energia para aquecimento se a estufa for alongada mas não profunda. A utilização de vidros duplos (eventualmente com revestimentos de baixa emissividade) e isolamento móvel noturno torna-se aqui uma solução a ponderar e a instalar com muito menor custo que numa estufa adossada.

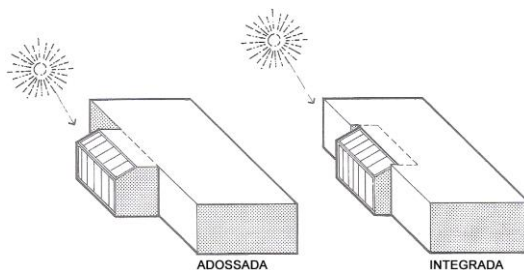


Figura 3.19 – Estufa adossada e estufa integrada [44]

É necessário ter sempre presente na conceção de estufas, alguns aspetos básicos tal como a orientação, o tipo de estrutura e o material transparente a utilizar. Sobre a orientação, poderemos afirmar que, a eficácia da captação de energia solar por parte da estufa depende em grande parte da sua orientação. A orientação a Sul será sempre a privilegiada para a estufa adossada, dado que contribui para o incremento dos ganhos na estação fria, devendo as superfícies não opacas a Este, Oeste e da cobertura ser reduzidas ao mínimo, ou mesmo evitadas, visto que proporcionam pouco calor no Inverno e produzem problemas de sobreaquecimento no Verão e nas estações de Outono e de Primavera. Relativamente ao tipo de estrutura, dependendo do material que se utilize, o tipo de estrutura do caixilho irá ter enorme influência no fator de obstrução do sistema, tornando-se importante pensar na otimização deste. Por último, notemos que o mais importante fator é o tipo de material transparente utilizado, dado que deste depende a quantidade de energia transmitida e retida, em função da seletividade do seu espectro. Para a realização das estruturas de suporte dos envidraçados podem empregar-se diversos materiais: madeira, metal (ferro, aço inox e alumínio), plásticos (usualmente PVC), betão ou tijolo. Para a seleção do tipo de material transparente empregue deverão ser tidos vários aspetos, tal como, espectro da transmitância, vida útil do material, custo económico, energia incorporada, entre outros. Os principais materiais transparentes utilizados em estufas são o vidro e os plásticos. De modo a garantir o isolamento da estufa durante o período da noite, deverá ser isolada a superfície vidrada (através de estore que proporcione algum isolamento térmico noturno), como também isoladas as paredes e vãos de separação entre a estufa e a habitação.

Existem vários e sofisticados processos de acumulação térmica, sendo os mais conhecidos: pavimento e parede de Trombe, contentores de água e massa de enrocamento.

As paredes de separação entre habitação e estufa são as mais indicadas para a colocação da massa térmica. Estas recebem durante o dia a radiação solar direta, conduzem uma parte para a habitação e outra serve para manter quente a estufa. Se existir uma área de envidraçado a separar a estufa do compartimento útil, um fragmento da radiação solar pode atravessar a estufa, sendo transmitido diretamente pelos envidraçados. O seu efeito neste caso é semelhante ao de um sistema direto. Neste caso, uma parte considerável da radiação solar que a estufa captou introduz-se diretamente na habitação através do vidro, especialmente quando a altura do Sol é baixa, nos meses de Inverno. A utilização de contentores de água constitui a forma mais económica, eficaz e ecológica para armazenamento térmico em estufas, pois a água (como existe em qualquer lugar) não necessita de transporte, o seu volume é reduzido e facilmente modificável e o seu custo irrelevante (para 1 m² de superfície envidraçada deve prever-se uma massa de 0,5 a 1 m³ de água) [26]. Uma outra posição para colocar a massa térmica é o pavimento da estufa. Neste caso este deverá ser dum material pesado, com uma grande capacidade

térmica. Se for num piso térreo, não deverá ser isolada relativamente ao terreno situado por baixo, já que este também pode constituir uma fonte de calor quando a temperatura da estufa é baixa. No entanto, é importante um bom isolamento perimetral do pavimento da estufa para evitar a perda do calor armazenado[3].

Outros elementos pesados situados dentro da estufa podem também atuar eficientemente como massa térmica. Podem utilizar-se contentores de água, piscinas, terra em vasos de plantas, blocos de betão, etc.

3.4.2. COLETORES DE AR

Os denominados sistemas de coletor a ar (Figura 3.20) são caracterizados por possuir uma superfície de vidro e uma outra absorvedora sem qualquer capacidade de armazenamento térmico. Estes funcionam em termosifão, permitindo ventilar os espaços interiores adjacentes ao longo de todo o ano. Este sistema permite, através de um dispositivo de captação solar, aquecer o ar exterior a insuflar no interior do edifício numa situação de Inverno, permitindo que toda a radiação absorvida seja transmitida diretamente ao ar de insuflação. Contrariamente, no verão, este sistema permite a extração do ar interior.



Figura 3.20 - Coletor de ar no inverno exterior/interior e coletor de ar no verão exterior/interior [10]

Nestes sistemas a utilização de vidro simples e caixilharia metálica é frequente, dado que apesar de haverem maiores perdas térmicas, o fator de obstrução é menor do que no caso de se utilizarem caixilharias em PVC ou madeira e vidros duplos. Este tipo de sistema poderá obter maiores ganhos e compensar deste modo no balanço energético global, comparativamente aos sistemas de ganho indireto do tipo parede de Trombe.

Nestes sistemas a captação, absorção e armazenamento de energia realiza-se em espaços independentes da habitação. Um captador separado da habitação aquece o ar que, por efeito de termosifão, ou forçado por ventilador (neste caso um sistema híbrido e não somente passivo) é introduzido nos espaços habitáveis, aquecendo-os. O sistema pode incluir um elemento de armazenamento térmico também separado do espaço a aquecer, como é o caso do leito de brita. O elemento de armazenamento térmico mais adequado é um depósito de material granular, pela sua dupla função de armazenamento e troca de calor [37]. Existem diversos materiais que se podem utilizar, tanto para armazenamento em forma de calor sensível, como em forma de calor latente. O mais comum é o leito de brita (depósito de pedras), como o representado na Figura 3.21. A configuração típica dum sistema de termosifão consta dum sistema captador, o leito de brita e dois circuitos de condutas para a carga e descarga térmica do leito para o espaço a aquecer. O efeito termosifão baseia-se na diminuição da densidade dum fluido ao aumentar a sua temperatura. Desta forma, o ar ao aquecer tem tendência a subir e o seu lugar ocupado por ar mais frio [37].

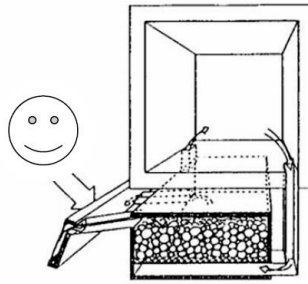


Figura 3.21 - Sistema de termosifão com leito de rochas [3]

3.5. SISTEMAS DE ARREFECIMENTO PASSIVO – DIRETOS

O arrefecimento direto inclui a proteção solar e aqueles procedimentos de arrefecer um ambiente pondo-o em contacto direto com uma fonte fria (o céu durante a noite, o ar fresco noturno, a terra ou a absorção do calor pela água ao evaporar-se). A refrigeração direta inclui cinco mecanismos: proteção solar, ventilação, construções enterradas, refrigeração por evaporação de água e arrefecimento por desumidificação.

3.5.1. PROTEÇÃO SOLAR

A proteção solar dos envidraçados tem como objetivo principal melhorar o seu comportamento energético. A conceção de um dispositivo de sombreamento tem de considerar a altura e azimute do sol durante ano, de forma a responder mais eficazmente à sua solicitação.

O sombreamento pode ser feito por elementos naturais: através de vegetação, como está exemplificado na Figura 3.22, podendo ser de folha caduca e desta forma permitir a passagem dos raios solares no Inverno e/ou através da posição relativamente ao relevo geográfico.

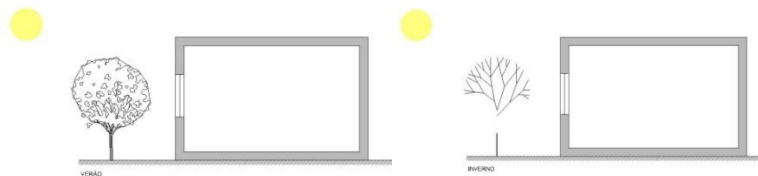


Figura 3.22 – Sombreamento através de vegetação de folha caduca no Verão (esquerda) e no Inverno (direita)

Contudo, o sombreamento poderá ser também feito pela conceção arquitetónica, através da diferente orientação dos vãos, pela posição relativa a outras construções, pela própria volumetria e forma da construção. Podem também ser utilizados elementos construtivos acessórios tais como palas (metálicas, de betão armado, de pedra, etc.), estores manobráveis, com a vantagem adicional do baixo peso e custo, e de ser possível obter vários graus de transparência e regulação do fluxo solar, com maiores ou menores fatores de sombreamento e mesmo isolamento noturno.

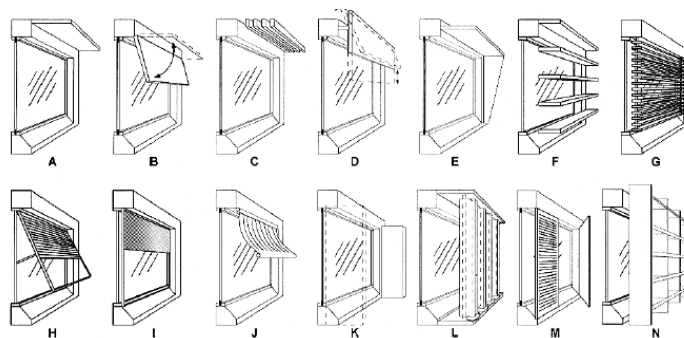


Figura 3.23 - Exemplos de sistemas de proteção solar exteriores de janelas [3]

Alguns destes sistemas caracterizam-se por ser sistemas fixos de sombreamento, tornando-se menos versáteis que os elementos móveis ou orientáveis, já que estes podem ser realizados em materiais e sistemas de fácil reutilização, pelo que o seu impacto ambiental é normalmente reduzido, sendo rapidamente amortizáveis em termos de balanço energético entre a energia gasta na sua produção e a energia economizada pela sua utilização. O uso de dispositivos de sombreamento e isolamento reguláveis é importante, tanto no Inverno como no Verão, do ponto de vista da redução das perdas de calor por transmissão, e do controlo da penetração do sol. O efeito dos dispositivos de sombreamento pode ser expresso pelo fator de ganhos solares ou pelo coeficiente de sombreamento.

O sombreamento de superfícies verticais orientadas a Sul é relativamente fácil de se conseguir mediante elementos horizontais projetados, como sejam, toldos, palas horizontais, palas refletoras, vãos recuados, etc.. A Norte, os elementos horizontais projetados não desempenham qualquer função de sombreamento, podendo as palas verticais ou janelas recuadas ter utilidade em vãos nesta orientação, para bloquear o Sol baixo do início da manhã e/ou do fim da tarde. Durante a época de Verão, não deverão apenas ser sombreadas as aberturas a Sul, mas especialmente a Este e Oeste. O sombreamento nestas orientações permite evitar a entrada dos raios solares quando o Sol está mais baixo, que neste período do ano são as horas de maiores ganhos no Verão, já que as radiações se encontram mais perpendiculares aos envidraçados. O sombreamento estival das aberturas a Nascente e Poente não se pode realizar com o mesmo tipo de sombreadores que numa orientação a Sul, pela baixa altura do sol no Verão para estas orientações. Não se poderá neste caso utilizar sombreadores fixos tipo palas horizontais ou brise soleils horizontais. Um procedimento para conseguir este sombreamento é por exemplo a utilização de brise-soleils verticais. Estores móveis exteriores de lâminas ou de PVC em plano vertical são soluções universais em termos de orientações e latitudes.

Os elementos construtivos sombreadores são quase sempre associados à pele exterior e deverão preferencialmente localizar-se no exterior do envidraçado, pois os elementos localizados no interior são muito menos eficazes. Os dispositivos de sombreamento exterior são mais eficientes, no que diz respeito ao risco de sobreaquecimento do compartimento, durante o Verão, com exceção da orientação Norte, onde é praticamente indiferente. Este fenómeno pode ser explicado, devido ao facto dos dispositivos, ao serem colocados pelo interior do compartimento, fazer com que a radiação solar absorvida seja transferida por convecção e por radiação infravermelha de onda-longa, para o interior do compartimento. A colocação de proteções de cor clara no exterior é especialmente eficaz no Verão pois, além de impedir a radiação direta de atingir o vidro, a ventilação conseguida no exterior permite a dissipação do calor absorvido pelo tecido e refletido pelo vidro.

Paralelamente às exigências de proteção dos ganhos térmicos, os elementos de sombreamento exterior podem também ser úteis na redução do encandeamento, bloqueando parcialmente a visão de partes de céu demasiado brilhantes, por parte dos ocupantes. Ao mesmo tempo as superfícies exteriores podem

ainda ser de utilidade no aumento da uniformidade da distribuição da iluminação natural no interior dos edifícios. As palas de sombreamento e as palas refletoras, podem melhorar a distribuição de iluminâncias e reduzir o encandeamento, como mostra a Figura 3.24. Quanto maior for a pala, maior é a redução dos níveis de iluminação natural junto aos vãos, dando aso a uma iluminação mais uniforme. As palas refletoras têm uma função dupla, de sombreamento e de dispositivo de iluminação natural.

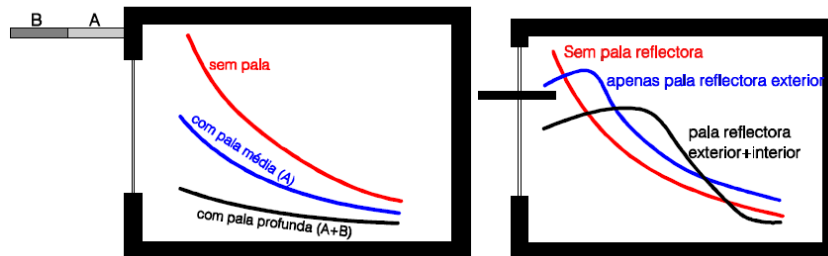


Figura 3.24 - Efeito de elementos de sombreamento na iluminação natural de um compartimento [45]

De um modo geral, poderemos afirmar que a principal função dos elementos de sombreamento exteriores são a proteção contra os ganhos térmicos excessivos, ao passo que os dispositivos interiores devem ser usados no controlo do encandeamento.

3.5.2. VENTILAÇÃO NATURAL

A ventilação natural é a renovação do ar interior por ar novo exterior, recorrendo apenas a aberturas na envolvente com área adequada, reguladas manualmente ou automaticamente através de mecanismos naturais do vento e do movimento de ar devido a diferenças de temperatura. Esta renovação através da introdução de ar limpo e extração de ar viciado deve ocorrer, preferencialmente, de forma controlada, através de fluxos de ventilação. Existem numerosas formas de promover a ventilação natural nos edifícios, entre elas estão o sistema de ventilação cruzada, a ventilação induzida ou efeito chaminé, a câmara solar ou chaminé solar, o aspirador estático, e por último, a torre de vento.

O **sistema de ventilação cruzada**, representada na Figura 3.25, consiste em favorecer o movimento de ar de um espaço, ou de uma sucessão de espaços associados, mediante a colocação de aberturas em fachadas opostas. Este sistema é aconselhável em climas secos e em climas temperados, para arrefecimento noturno durante o Verão. As aberturas devem situar-se em fachadas que estejam em comunicação com espaços exteriores, que possuam condições de radiação ou de exposição ao vento, com características muito diferentes.



Figura 3.25 – Corte esquemático de sistema de ventilação cruzada

A **ventilação induzida ou efeito chaminé**, representada na Figura 3.26, é baseada no efeito de estratificação do ar nos edifícios, que pode fomentar ventilação quando não existe deslocação de ar exterior. Assim, através da colocação de aberturas a dois níveis, uma superior e outra inferior, produz-se um circuito no qual o ar mais quente sai pela abertura superior e o ar mais fresco exterior é introduzido pelas aberturas situadas no nível mais baixo.

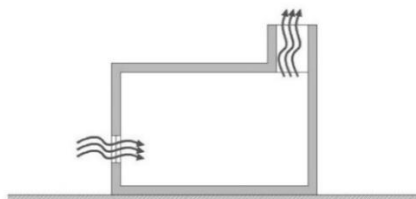


Figura 3.26 - Corte esquemático de sistema de ventilação induzida ou efeito chaminé

A **câmara solar ou chaminé solar**, representada na Figura 3.27, tem a mesma função do que uma chaminé comum, no entanto, esta elimina ar quente interior. O procedimento consiste na aplicação de uma câmara-de-ar, com um captador de radiação solar de cor escura, protegido por um invólucro de vidro, na cobertura do espaço a climatizar. Desta forma, o ar presente dentro da câmara é aquecido, diminuindo a sua densidade e provocando a extração do ar no interior do edifício, devido ao fenómeno de estratificação do ar. De modo a otimizar o funcionamento da chaminé solar, quanto maior a intensidade da radiação solar, maior o rendimento das chaminés solares, obtendo deste modo a máxima eficácia quando se afigure mais necessário. Este sistema pode também combinar-se com outros de tratamento de ar, de forma a obter melhores resultados na refrigeração interna estas devem orientar-se para a maior intensidade de radiação solar.

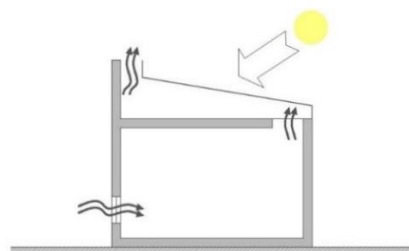


Figura 3.27 - Corte esquemático de sistema de câmara solar na cobertura

Se a temperatura exterior é alta não se gera uma boa extração por efeito chaminé. Para que funcione corretamente deve existir uma diferença de temperatura entre o ar quente que está na parte mais alta do espaço habitado e o ar exterior. Uma forma de favorecer o movimento do ar interior por estratificação pode ser através do aquecimento do ar no desvão da cobertura, chamando-se neste caso de câmara solar[3]. As câmaras solares orientam-se sempre para a máxima intensidade da radiação solar. Segundo a latitude, estas podem orientar-se para Sul, Este ou Oeste, de acordo com o horário de utilização previsto.

O **aspirador estático**, representado na Figura 3.28, é um sistema que gera movimento de ar no interior do espaço, a partir de uma extração de ar pela cobertura, combinada com entrada do ar de renovação pela parte inferior do circuito, para assegurar o funcionamento correto do sistema. Estes aspiradores produzem uma depressão no ar interior devido à sucção produzida por um dispositivo estático, situado na cobertura. Assim o vento ao atravessar este dispositivo vai criar o efeito Venturi, causa da aspiração do ar interior. Existe uma grande variedade de dispositivos aspiradores estáticos, tanto em termos de tamanho, o que permite a adaptação em vários tipos de cobertura, como em termos de formas. [3]

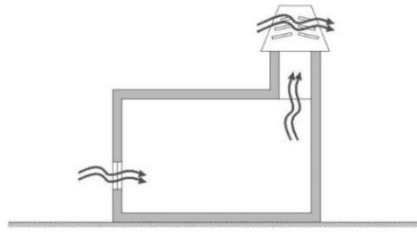


Figura 3.28 – Corte esquemático de sistema de ventilação estático

A **torre de vento**, representada na Figura 3.29, é uma técnica que funciona de maneira inversa aqueles anteriormente citados. Aqui, a introdução de ar exterior no ambiente interior é realizada através de uma torre, que se encontra a maior altura do que a cobertura, de forma a recolher o vento onde este é mais intenso. O ar captado é transferido para a parte mais baixa do edifício através do uso de condutas. Quando o vento apresenta uma direção dominante, a torre possui apenas uma abertura orientada no sentido do vento, contudo, quando são observadas várias direções, a torre possui mais do que uma abertura, para melhor recolher os ventos. Em geral este é um sistema válido para climas quentes, com ventos frequentes e intensos, já que o sistema depende basicamente desta característica climática. [3]

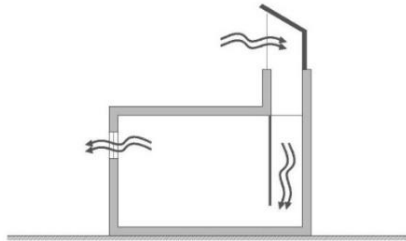


Figura 3.29 - Corte esquemático de sistema de ventilação de torre de vento

3.5.3. CONSTRUÇÕES ENTERRADAS

As construções enterradas são uma forma de beneficiar das características térmicas do solo, pois este mantém-se a uma temperatura mais ou menos constante ao longo do ano, apenas variando em função da latitude e da profundidade. Deste modo, durante a época quente, o solo encontra-se mais frio do que a temperatura exterior, arrefecendo, assim, o ambiente interior do edifício. Contrariamente, de Inverno, o aquecimento consequentemente a edificação solo exibe uma temperatura mais quente do que a atmosfera exterior. A Figura 3.30 exemplifica uma aplicação de construção enterrada, a Casa Baião.



Figura 3.30 - Exemplo de construção enterrada: Casa Baião, Souto Moura [46]

3.5.4. ARREFECIMENTO POR EVAPORAÇÃO DE ÁGUA

O arrefecimento por evaporação de água, representado na Figura 3.31, trata de um sistema passivo que recorre à evaporação da água para refrigerar um espaço. Neste processo, a água absorve energia em forma de calor latente de evaporação, sem incrementar a sua temperatura. Desta forma, o espaço fica mais fresco e húmido, aumentando os níveis de conforto nas estações quentes. Para propiciar um arrefecimento evaporativo eficaz, torna-se necessário a existência de uma grande superfície de contacto entre o ar e a água. Uma boa solução consiste em espelhos de água, por se tratarem de reservatórios de água pouco profundos e habitualmente extensos. O processo pode ainda ser otimizado se a água estiver em movimento, sendo fontes e correntes de água boas opções. O arrefecimento evaporativo possui um desempenho bastante positivo no clima português, especialmente durante o Verão. Possui a vantagem de funcionar melhor quando a incidência solar é mais intensa, ou seja, quando a refrigeração é mais necessária. Para além disto, as opções são muito variáveis e atrativas, pelo que a sua utilização torna-se bastante versátil.

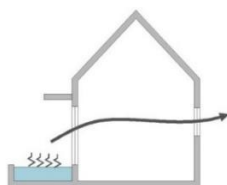


Figura 3.31 – Corte esquemático de arrefecimento por evaporação de água

3.5.5. ARREFECIMENTO POR DESUMIDIFICAÇÃO

O arrefecimento por desumidificação caracteriza-se pelo uso de materiais porosos. O corpo humano perde energia em excesso por evaporação, através do suor. A implementação destes sistemas só fará sentido em climas quentes e húmidos. Nestes climas, o suor não pode evaporar-se e o corpo encontra-se assim em desconforto por excesso de calor. Os desumidificadores são materiais porosos que captam a humidade do ar. Se o ar húmido atravessa um leito de material desumidificador, o vapor de água é absorvido e o ar seca. Este processo liberta energia e, portanto, o ar aquece. É preciso, então, uma superfície de baixa temperatura para absorver esta energia e manter o conforto. Quando o leito de material desumidificador se satura de água, faz-se passar através deste uma corrente de ar quente que o seca, permitindo novamente a desumidificação. Os materiais desumidificadores mais utilizados são o gel de sílica e a alumina. [3]

3.6. SISTEMAS DE ARREFECIMENTO PASSIVO – INDIRETOS

Os sistemas de arrefecimento passivo indiretos utilizam elementos (superfície radiante ou elemento de armazenamento térmico) que absorvem o calor do edifício e o refrigeram radiando energia para o exterior ou permitindo o fluxo de ar fresco através dele. Os dois sistemas de arrefecimento indireto são a radiação e a ventilação noturna dos elementos que armazenam o calor.

3.6.1. ARREFECIMENTO POR RADIAÇÃO NOTURNA

O arrefecimento por radiação noturna, representado na Figura 3.32, tira proveito do fenómeno de transferência de calor do corpo mais quente para o corpo mais frio e do facto da abóbada celeste se encontrar a uma temperatura baixa, fazendo com que o emissor de calor seja o edifício e a sua envolvente. Assim, mediante a colocação na cobertura de um elemento de armazenamento térmico (pesado ou água), obtém-se um sistema de dupla função. No período quente e durante o dia, a estrutura é coberta com um isolante, que impede a captação dos raios solares, absorvendo, ao invés, a energia calorífica do ambiente interior. Durante a noite, a camada protetora é retirada, e o calor armazenado durante o dia é irradiado para o exterior. Ao ser colocado na cobertura desfruta de um fator de exposição ao céu muito maior do que as superfícies verticais, logo é mais profícua a sua aplicação nesse local do que nas fachadas. Para que o seu funcionamento seja efetivo é indispensável a existência de condições ambientais adequadas. Assim, quanto maior a nitidez atmosférica, nomeadamente céu limpo, poluição e humidade reduzida, melhor o funcionamento do sistema. Por outro lado, com céu nublado, não é possível visualizar a abóbada celeste, logo a transferência de calor do edifício para a atmosfera fica impossibilitada. O efeito de arrefecimento por radiação noturna pode ser intensificado através da construção de pátios fechados. O ar arrefecido, como é pesado, não consegue movimentar-se por convecção, logo permanece nesses espaços, arrefecendo, assim, os espaços interiores. [3]

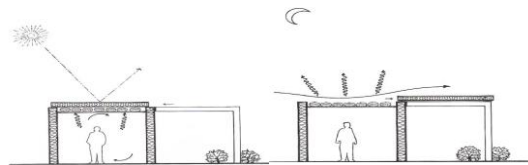


Figura 3.32 - Esquema do funcionamento do arrefecimento por radiação noturna durante o dia (à esquerda) e durante a noite (à direita) [44]

3.6.2. ARREFECIMENTO POR VENTILAÇÃO NOTURNA DOS ELEMENTOS DE ARMAZENAMENTO TÉRMICO

O arrefecimento por ventilação noturna consiste, sobretudo, em fazer circular o ar fresco da noite e das primeiras horas da manhã, de forma a refrescar, não só os compartimentos interiores, mas também os elementos de armazenamento térmico. Assim, durante o dia estes elementos absorvem o calor interior, arrefecendo os espaços. Uma variante deste sistema produz-se quando o elemento de armazenamento térmico é um leito de pedras situado sob o espaço a climatizar. Durante a noite o ar fresco exterior atravessa as pedras, arrefecendo-as. Durante o dia, o ar mais quente do ambiente exterior atravessa as pedras, perdendo parte do seu calor e arrefecendo o ambiente.

3.7. SISTEMAS DE ARREFECIMENTO PASSIVO - ISOLADO

Nos sistemas de arrefecimento passivo isolado poderemos incluir o arrefecimento por ventilação a partir de zonas separadas. Este tipo de sistema consiste na climatização do interior através de uma área isolada. No **arrefecimento por ventilação a partir de zonas separadas**, exemplificado na Figura 3.33, o ar exterior atravessa um circuito de tubagens enterradas numa fonte fria, tais como o solo, um leito de pedras ou água, de modo achar-se transformado em ar fresco quando chegar ao edifício. Quanto maior for o percurso do circuito, maior o arrefecimento do ar. Este sistema pode ser aberto, recebendo ar do exterior, ou fechado, arrefecendo apenas o ar recolhido no interior do edifício.[3]

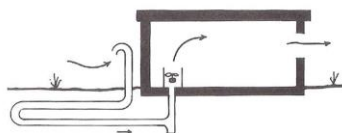


Figura 3.33 - Esquema do funcionamento do arrefecimento geotérmico [44]

3.8. VANTAGENS E DESVANTAGENS NA APLICAÇÃO DOS SISTEMAS SOLARES PASSIVOS

Como já foi explicado anteriormente, os sistemas passivos poderão ser para aquecimento, arrefecimento ou ambos em simultâneo.

No que respeita ao aquecimento passivo, estes sistemas tiram partido na maioria dos casos da nossa maior fonte de energia (que ainda temos gratuita) o Sol. De seguida, apresentam-se algumas vantagens e desvantagens relativas à aplicação dos sistemas solares passivos de aquecimento.

Como **vantagens relativas aos sistemas de aquecimento passivo de ganho direto** [3], poderemos dizer que:

- O sistema de ganho direto é o de maior rendimento energético (energia utilizada por metro quadrado de captador é máxima);
- É um dos sistemas construtivamente mais baratos já que os materiais e sistemas construtivos utilizados podem ser os comuns, mesmo sem necessidade de recorrer a massa térmica adicional (já que esta está uniformemente distribuída no interior);
- A superfície envidraçada de captação produz iluminação dos espaços interiores e permite a visibilidade para o exterior (se for utilizado vidro ou material translúcido);
- O sistema permite grande flexibilidade na conceção arquitetónica. Apenas é necessário ter algum bom senso, bastando seguir as recomendações do REH em termos de inércia térmica, orientação e área de envidraçados, dispositivos de sombreamento e coeficientes U recomendados.

Como **desvantagens relativas aos sistemas de aquecimento passivo de ganho direto** [3], poderemos dizer que:

- As grandes superfícies de envidraçado podem provocar falta de privacidade e iluminação excessiva;
- A radiação direta pode provocar assimetrias na temperatura radiante, provocando desconforto durante as horas de maior incidência do Sol (precisamente no Inverno quando os ganhos são necessários, especialmente nas fachadas orientadas a Sul);
- A radiação solar direta pode provocar degradação e descoloração dos materiais localizados no interior;
- Necessidade de orientação solar favorável (Sul) para os envidraçados do sistema;
- Pelas razões referidas anteriormente, corre-se o risco do sistema, ainda que esteja bem dimensionado, não se tornar realmente efetivo quando a habitação está ocupada e nos períodos de Inverno, já que a tendência dos seus ocupantes será de fechar os sistemas de oclusão e assim impedir os ganhos;
- É ainda necessário prever a quantidade de massa de armazenamento térmico do edifício para evitar sobreaquecimentos que provoquem desconforto. A oscilação máxima de temperaturas não deverá ultrapassar os 6°C. Grandes superfícies de captação podem

provocar um aumento de custo do sistema, pelos envidraçados em si, pela massa de armazenamento térmico adicional e pelos dispositivos de isolamento térmico necessários para proteger os envidraçados durante a noite;

- Para se poder cobrir uma percentagem elevada das necessidades de aquecimento do edifício, deverá ser colocada uma grande quantidade de massa de armazenamento térmico, pelo que o edifício se torna mais pesado e também mais caro, limitando por exemplo o número de pisos e incrementando também o impacte ambiental da construção.

Como **vantagens relativas aos sistemas de aquecimento passivo de ganho indireto** [3], poderemos dizer que:

- Os sistemas de ganho indireto proporcionam calor durante o dia, por convecção de ar quente, e também durante a noite, normalmente quando é mais necessário, por radiação da energia armazenada na massa de armazenamento térmico;
- Permitem um controle mais rigoroso sobre a quantidade de calor cedida ao ambiente interior do que no caso do ganho direto, pelo que a oscilação da temperatura interior é normalmente menor;
- Podem atuar como aquecedores no Inverno e refrigeradores no Verão;
- Evitam os problemas da degradação dos objetos expostos diretamente à radiação solar e o encadeamento;
- No caso das coberturas de água, existe a vantagem adicional que, devido à grande superfície de radiação de calor, os efeitos de aquecimento e refrigeração são mais uniformes que no caso das paredes. Também a orientação solar neste caso não é vinculativa (exceto se houver obstáculos exteriores que produzam sombra), pelo que a organização do espaço interior do edifício é mais flexível.

Como **desvantagens relativas aos sistemas de aquecimento passivo de ganho indireto** [3], poderemos dizer que:

- As paredes de armazenamento térmico com ganho indireto obrigam à orientação Sul.
- As perdas térmicas noturnas destes sistemas costumam ser elevadas. O isolamento em alguns casos (nomeadamente em paredes de água) torna-se complexo e de difícil instalação e manutenção;
- As paredes de armazenamento ocupam espaço habitável e incrementam muito significativamente o peso do edifício;
- As paredes de armazenamento impedem as vistas para o exterior pelo que obrigam à abertura de envidraçados maiores ou orientados a outras direções (por exemplo Norte);
- No caso das coberturas de água o sistema obriga a um pé direito baixo e climatizar com este sistema apenas o piso adjacente à cobertura. A estrutura de suporte da cobertura é mais cara, pois terá de ser sobredimensionada para suportar o peso adicional da água.

Como **vantagens relativas aos sistemas de aquecimento passivo de ganho isolado (estufas)** [3], poderemos dizer que:

- As estufas reduzem as perdas de calor do edifício, atuando como espaço tampão;
- A variação de temperaturas dia/noite nos espaços habitáveis adjacentes é pequena;
- A estufa adossada pode adaptar-se perfeitamente a edifícios já existentes e permite o incremento da superfície habitável.

Como **desvantagens relativas aos sistemas de aquecimento passivo de ganho isolado (estufas)** [3], poderemos dizer que:

- A eficácia térmica da estufa varia muito segundo o desenho, o que torna difícil prever o seu comportamento;
- A construção de estufas de elevada eficácia térmica é cara (grandes superfícies a isolar durante a noite);
- As oscilações de temperatura dentro da estufa são consideráveis e convertê-la em espaço habitável é caro pois requer a inclusão duma elevada massa térmica adicional (principalmente se não for num piso térreo);
- Com a inclusão de estufas há ainda um risco acrescido de sobreaquecimento se não forem bem utilizadas;
- O principal inconveniente da solução de estufa integrada é a dificuldade de adaptação a edifícios já construídos.

Em relação ao arrefecimento passivo, os sistemas são mais diversificados, recorrendo a maior parte das vezes à água, vento ou simplesmente o ar. Contudo o maior segredo em técnicas de arrefecimento ainda é o de impedir o aquecimento através do sol.

4

INTEGRAÇÃO DE SISTEMAS SOLARES PASSIVOS

4.1. CASO DE ESTUDO

4.1.1. DESCRIÇÃO DO EDIFÍCIO

O edifício selecionado para o caso de estudo, trata de uma moradia unifamiliar, designada por moradia Portas do Sol. A presente moradia encontra-se ainda em fase de projeto, e está localizada no município de Vila Nova de Famalicão, distrito de Braga. Esta moradia é de tipologia T3, possuindo apenas um piso com área de 235,9 m² e pé direito variável. Na figura 4.1, é apresentada a planta do piso 0. Os restantes desenhos (planta de cobertura, alçados e cortes) e informação relativa a áreas (área de cada compartimento, e área e orientação de envidraçados afetos a cada divisão) encontram-se no Anexo A (Elementos gerais da moradia Portas do Sol) da presente dissertação.

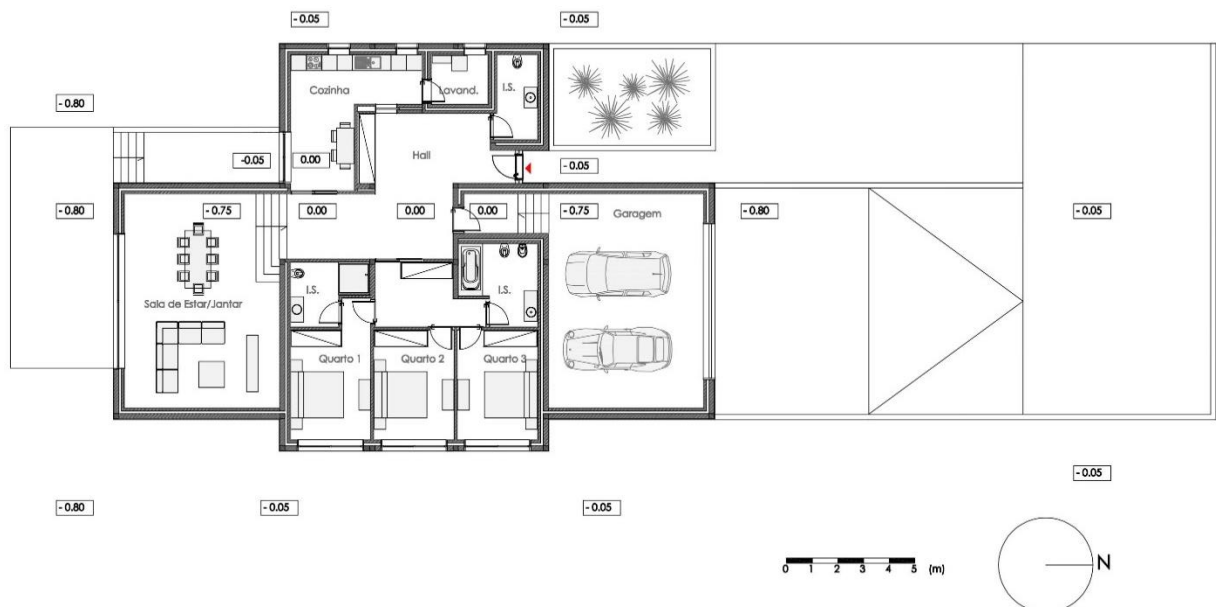


Figura 4.1 – Planta do Piso 0 da Moradia Portas do Sol

4.1.2. LOCALIZAÇÃO DO EDIFÍCIO

O edifício está localizado no concelho de Vila Nova de Famalicão, distrito de Braga. O município de Vila Nova de Famalicão encontra-se, segundo a Nomenclatura das Unidades Territoriais para Fins Estatísticos (NUTS) na região Norte (NUTS II), e na sub-região do Ave (NUTS III). O Decreto-Lei n.º 118/2013, de 20 de Agosto, estabelece o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (REH), no qual são definidas três zonas climáticas de inverno (I1, I2 e I3) e três zonas climáticas de verão (V1, V2 e V3) para aplicação de requisitos de qualidade térmica da envolvente. Poderemos então afirmar que as zonas nas quais se insere esta moradia unifamiliar, são **I1** e **V2**, de Inverno e de Verão, respetivamente.

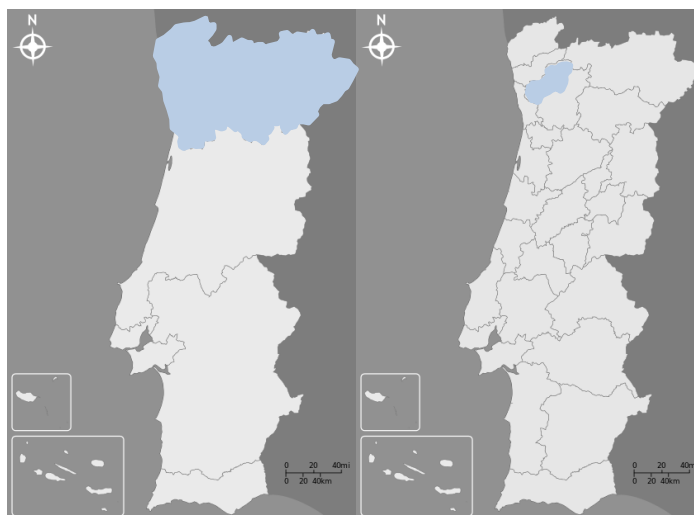


Figura 4.2 – Mapa dos níveis NUTS II (esquerda) e NUTS III (direita) com localização da região Norte e sub-região do Ave referente ao edifício em estudo (adaptado [47])

4.1.3. CARACTERIZAÇÃO CONSTRUTIVA

As soluções construtivas adotadas para a envolvente do edifício são as descritas no projeto de arquitetura. As soluções construtivas utilizadas no caso de estudo e respetivos coeficientes de transmissão térmica são apresentadas no Anexo B (Caracterização construtiva da moradia Portas do Sol) da presente dissertação. Em seguida, será descrito de modo sucinto a caracterização construtiva de todos os elementos que constituem o projeto, tal como paredes exteriores, paredes interiores, pavimentos, cobertura e envidraçados.

As paredes exteriores são descritas como sendo paredes duplas (pano interior de tijolo de 11 cm; pano exterior de tijolo de 20 cm) com 10 cm de caixa-de-ar preenchida parcialmente por isolamento térmico, constituído por placas de poliestireno extrudido com 6 cm de espessura. Na face para o exterior, as paredes são rebocadas com uma espessura de 2 cm de argamassa, enquanto que na face interior, as paredes são concluídas com gesso projetado com uma espessura de 2 cm. Nas situações em que surge a estrutura (pilares em betão), a constituição da parede assemelha-se à descrita anteriormente, excetuando pano exterior (tijolo de 20 cm) que será substituído pela estrutura, ou seja, o pilar.

As paredes interiores que funcionam como meio de separação da habitação e dos espaços não aquecidos descrevem-se como sendo paredes duplas. No caso da lavandaria, a parede é constituída por pano

interior de tijolo de 11 cm e pano exterior de tijolo de 15 cm, com 8 cm de caixa-de-ar preenchida parcialmente por isolamento térmico, constituído por placas de poliestireno extrudido com 4 cm de espessura. As paredes são em ambas as faces rematadas com gesso projetado com uma espessura de 2 cm. No caso da garagem, a parede é constituída por pano interior de tijolo de 11 cm e pano exterior de tijolo de 20 cm, com 8 cm de caixa-de-ar preenchida parcialmente por isolamento térmico, constituído por placas de poliestireno extrudido com 4 cm de espessura. Na face para o exterior, as paredes são rebocadas com uma espessura de 2 cm de argamassa, enquanto que na face interior, as paredes são concluídas com gesso projetado com uma espessura de 2cm.

As paredes interiores que funcionam como divisórias interiores da habitação descrevem-se como sendo, paredes simples de tijolo de 11 cm, e paredes simples de tijolo de 20 cm, rematadas com gesso projetado em ambas as faces com 2 cm de espessura.

Os pavimentos em contacto com o solo das zonas húmidas (instalações sanitárias e cozinha) são formados por geotêxtil, enrocamento (rachão e brita) com espessura de 15 cm, betão de inertes correntes com espessura de 5 cm, betão armado com espessura de 12 cm, betão de inertes de poliestireno expandido com espessura de 10 cm, camada de impermeabilização (duas telas betuminosas), poliestireno expandido extrudido com espessura de 4 cm, geotêxtil, argamassa de cimento com espessura de 3 cm e revestimento cerâmico com espessura de 2 cm.

Os restantes pavimentos em contacto com o solo são formados por geotêxtil, enrocamento (rachão e brita) com espessura de 15 cm, betão de inertes correntes com espessura de 5 cm, betão armado com espessura de 12 cm, betão de inertes de poliestireno expandido com espessura de 10 cm, camada de impermeabilização (duas telas betuminosas), poliestireno expandido extrudido com espessura de 4 cm, geotêxtil, caixa-de-ar com espessura de 3 cm e soalho de madeira com espessura de 2 cm.

A cobertura é plana, sendo constituída por godo com espessura de 5 cm, feltro de geotêxtil, poliestireno expandido extrudido com espessura de 6 cm, camada de impermeabilização (duas telas betuminosas), betão de inertes de poliestireno expandido com espessura de 8 cm, laje aligeirada com espessura de 25 cm, caixa-de-ar com espessura variável e placas de gesso cartonado com espessura de 1.5 cm.

Os envidraçados verticais são simples e compostos por vidro duplo (6+16+6) incolor e caixilharia de alumínio. A proteção exterior define-se como estore de enrolar de plástico de cor clara com preenchimento de espuma.

O envidraçado horizontal (claraboia) é simples e composto por vidro duplo (6+16+6) baixo emissivo e caixilharia de alumínio. A proteção interior define-se como cortina ligeiramente transparente de cor clara.

4.2. SOFTWARE UTILIZADO

4.2.1. ESTRATÉGIA ADOTADA PARA SIMULAÇÃO

No ato de dimensionamento, o projetista deverá recorrer a software que permita um estudo profundo das soluções que pretende implementar no projeto. Na presente dissertação foi necessário recorrer a alguns softwares que permitiram obter conhecimento de algumas variáveis do projeto. Numa fase inicial, com o apoio do software Climate Consultant 6.0, foi realizado um estudo referente ao clima da cidade onde o edifício está inserido, permitindo de igual modo apoiar o dimensionamento dos elementos de

proteção solar. Este estudo encontra-se descrito no subcapítulo 4.2.2. Posteriormente, com o apoio do software Window 7.4, realizou-se um estudo referente aos vãos envidraçados, permitindo simular algumas soluções mais correntes em Portugal, de vidro simples e duplo, das quais foi possível obter o coeficiente de transmissão térmica, o fator solar e o coeficiente de transmissão luminosa. Este estudo irá permitir fazer uma seleção mais criteriosa dos vãos envidraçados para o projeto referente ao caso de estudo, sendo descritas as diversas soluções no subcapítulo 4.2.3. Por último, com recurso ao software designbuilder, procedeu-se à simulação dinâmica do edifício referente ao caso de estudo. A estratégia adotada para a simulação dinâmica do edifício, passará inicialmente pela simulação do edifício real, ou seja, sem qualquer alteração do projeto de arquitetura, para posteriormente, após verificação de necessidades do edifício, implementar algumas estratégias com inclusão de sistemas solares passivos, de modo a obter resultados a nível de conforto satisfatórios. Estas simulações são apresentadas detalhadamente no subcapítulo 4.3.

Na figura 4.3 é apresentado um organograma, por forma a entender todo o processo de estudo referente ao edifício.

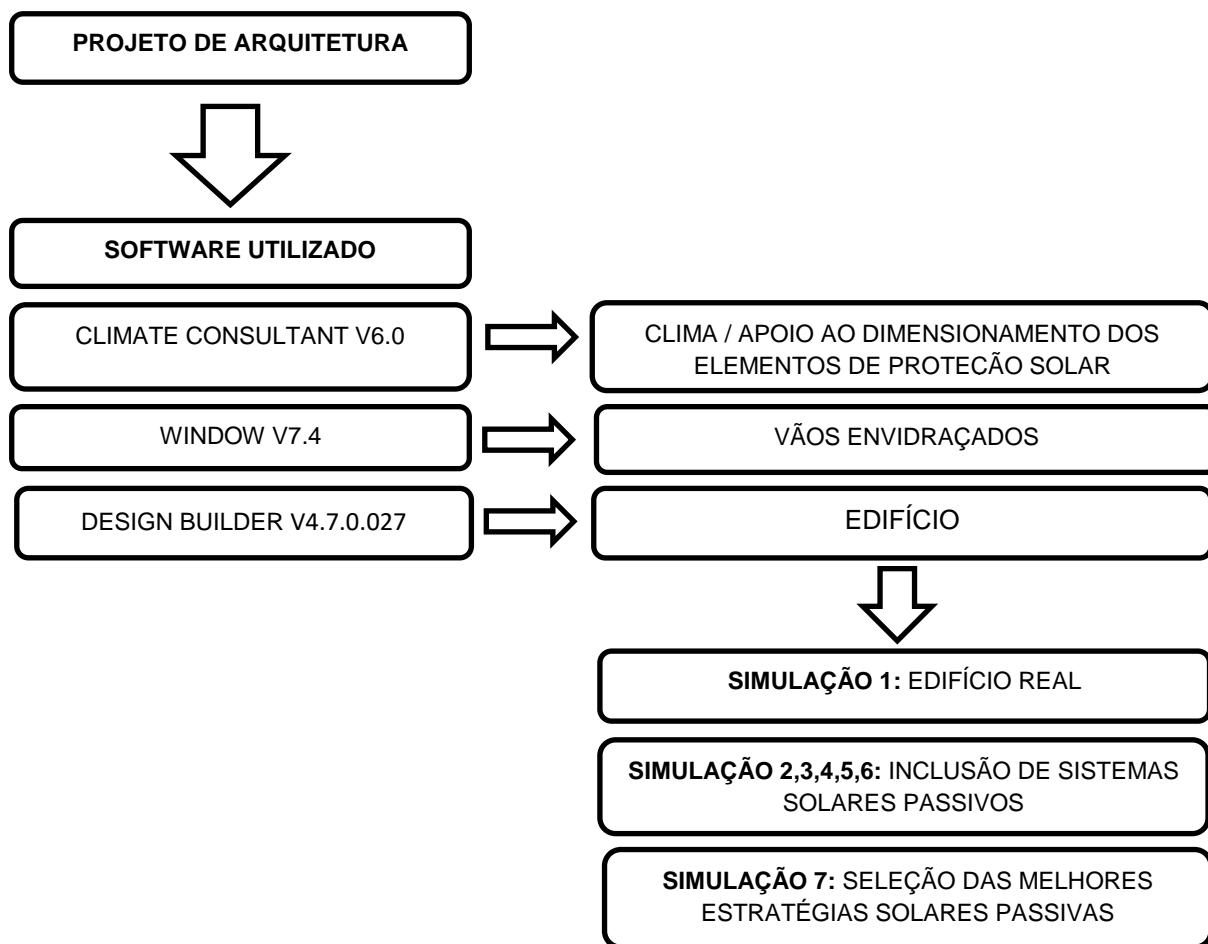


Figura 4.3 – Organograma da estratégia adotada para o caso de estudo

4.2.2. CLIMATE CONSULTANT V6.0

O Climate consultant é um software gratuito, disponível para descarga no portal do Departamento de Arquitetura da Universidade da Califórnia, em Los Angeles. Este software permite, através da inserção de um ficheiro climático com extensão .epw organizar os dados climáticos do local em estudo em variados tipos de tabelas, gráficos e diagramas. Após a inserção do ficheiro climático, obtido pela aplicação “CLIMAS-SCE” (software disponibilizado pelo Laboratório Nacional de Energia e Geologia), o programa apresenta uma tabela resumida dos dados inseridos, que se encontra na Figura 4.4.

MONTHLY MEANS	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC	
Global Horiz Radiation (Avg Hourly)	180	256	342	402	439	499	499	486	395	285	198	163	Wh/sq.m
Direct Normal Radiation (Avg Hourly)	233	321	336	390	409	528	522	563	429	335	239	211	Wh/sq.m
Diffuse Radiation (Avg Hourly)	96	118	158	167	174	154	159	137	153	128	109	94	Wh/sq.m
Global Horiz Radiation (Max Hourly)	539	649	896	1008	1030	1069	1055	1034	926	726	488	412	Wh/sq.m
Direct Normal Radiation (Max Hourly)	892	935	954	957	957	952	952	954	952	929	834	703	Wh/sq.m
Diffuse Radiation (Max Hourly)	205	273	314	368	383	384	382	366	329	281	221	186	Wh/sq.m
Global Horiz Radiation (Avg Daily Total)	1695	2663	4064	5287	6303	7470	7315	6611	4853	3090	1915	1476	Wh/sq.m
Direct Normal Radiation (Avg Daily Total)	2209	3327	4032	5102	5850	7901	7631	7646	5273	3637	2299	1914	Wh/sq.m
Diffuse Radiation (Avg Daily Total)	905	1223	1858	2209	2512	2304	2340	1878	1879	1385	1057	854	Wh/sq.m
Global Horiz Illumination (Avg Hourly)	24797	35361	47325	53627	55803	59755	60732	61039	53167	39270	27649	22515	lux
Direct Normal Illumination (Avg Hourly)	32710	43046	44842	48406	47155	56169	57227	64851	54866	44768	33910	30367	lux
Dry Bulb Temperature (Avg Monthly)	10	11	13	14	17	20	23	22	20	17	13	11	degrees C
Dew Point Temperature (Avg Monthly)	7	7	8	9	12	14	16	16	15	13	10	8	degrees C
Relative Humidity (Avg Monthly)	83	81	75	74	73	70	69	71	75	79	83	83	percent
Wind Direction (Monthly Mode)	170	220	230	270	260	260	270	270	240	200	180	90	degrees
Wind Speed (Avg Monthly)	2	2	3	2	2	2	2	2	2	2	2	2	m/s
Ground Temperature(Not Available)													

Figura 4.4 - Visualização dos dados climáticos para Vila Nova de Famalicão, com uma altitude de 98m, através do software Climate Consultant

A aplicação *Climate Consultant* permite seleccionar diferentes modos de cálculo pra diferentes tipos modelo de conforto, segundo quatro tipos:

- “**California Energy Code Comfort Model, 2013**”, é o modelo por defeito, atribui temperaturas de bolbo seco mínimo de 20°C e máximo 23,9°C, que são respetivamente, temperaturas mínima e máxima de conforto. A humidade relativa é fixada no máximo até 80% e que corresponde à temperatura máxima do bolbo húmido de 18,9°C e a temperatura mínima do ponto de orvalho é de -2,8°C. No entanto estes valores podem ser alterados.
- “**ASHRAE Standard 55 and Current Handbook of Fundamentals Comfort Model**”, é conhecido pelo modelo de voto médio previsível PMV. É um algoritmo experimental, que considera a temperatura de bolbo seco, humidade, velocidade do ar e a atividade metabólica. Ele tem duas zonas de conforto, uma para o verão e outra para o inverno dependendo da roupa e da atividade. Este modelo assume que a temperatura radiante média (tr) é aproximadamente igual à temperatura de bolbo seco.
- “**ASHRAE Handbook of Fundamentals Comfort Model, through 2005**” em que a zona de conforto muda em função do vestuário (CLO), e na zona mais quente correlaciona com as pessoas que vestem roupas leves.

- **“Adaptive Comfort Model in ASHRAE Standard 55-2010”**, aplica-se em espaços naturalmente ventilados, onde as pessoas podem abrir e fechar janelas. Este modelo não se aplica quando o sistema de aquecimento de um edifício está em funcionamento, e não se aplica se houver um sistema de ar condicionado. Assume que as pessoas vão se adaptar com roupas e ao clima (0,5 a 1,0 Clo), e que elas estão envolvidas em atividades sedentárias, como a leitura (1,0 a 1,1 met).

Optando pelo modelo **“ASHRAE Standard 55 and Current Handbook of Fundamentals Comfort Model”**, os critérios métricos que o modelo define são apresentados na Figura 4.5.

ASHRAE Standard 55, current Handbook of Fundamentals Comfort Model (select Help for definitions)	
1. COMFORT: (using ASHRAE Standard 55)	
1.0	Winter Clothing Indoors (1.0 Clo=long pants,sweater)
0.5	Summer Clothing Indoors (.5 Clo=shorts,light top)
1.1	Activity Level Daytime (1.1 Met=sitting,reading)
90.0	Predicted Percent of People Satisfied (100 - PPD)
20.3	Comfort Lowest Winter Temp calculated by PMV model(ET* °C)
24.3	Comfort Highest Winter Temp calculated by PMV model(ET* °C)
26.7	Comfort Highest Summer Temp calculated by PMV model(ET* °C)
84.6	Maximum Humidity calculated by PMV model (%)
2. SUN SHADING ZONE: (Defaults to Comfort Low)	
23.8	Min. Dry Bulb Temperature when Need for Shading Begins (°C)
315.5	Min. Global Horiz. Radiation when Need for Shading Begins (Wh/sq.m)
3. HIGH THERMAL MASS ZONE:	
8.3	Max. Outdoor Temperature Difference above Comfort High (°C)
1.7	Min. Nighttime Temperature Difference below Comfort High (°C)
4. HIGH THERMAL MASS WITH NIGHT FLUSHING ZONE:	
16.7	Max. Outdoor Temperature Difference above Comfort High (°C)
1.7	Min. Nighttime Temperature Difference below Comfort High (°C)
5. DIRECT EVAPORATIVE COOLING ZONE: (Defined by Comfort Zone)	
20.0	Max. Wet Bulb set by Max. Comfort Zone Wet Bulb (°C)
6.6	Min. Wet Bulb set by Min. Comfort Zone Wet Bulb (°C)
6. TWO-STAGE EVAPORATIVE COOLING ZONE:	
50.0	% Efficiency of Indirect Stage
7. NATURAL VENTILATION COOLING ZONE:	
2.0	Terrain Category to modify Wind Speed (2=suburban)
0.2	Min. Indoor Velocity to Effect Indoor Comfort (m/s)
1.5	Max. Comfortable Velocity (per ASHRAE Std. 55) (m/s)
8. FAN-FORCED VENTILATION COOLING ZONE:	
0.8	Max. Mechanical Ventilation Velocity (m/s)
3.0	Max. Perceived Temperature Reduction (°C) (Min Vel, Max RH, Max WB match Natural Ventilation)
9. INTERNAL HEAT GAIN ZONE (lights, people, equipment):	
12.8	Balance Point Temperature below which Heating is Needed (°C)
10. PASSIVE SOLAR DIRECT GAIN LOW MASS ZONE:	
157.7	Min. South Window Radiation for 5.56°C Temperature Rise (Wh/sq.m)
3.0	Thermal Time Lag for Low Mass Buildings (hours)
11. PASSIVE SOLAR DIRECT GAIN HIGH MASS ZONE:	
157.7	Min. South Window Radiation for 5.56°C Temperature Rise (Wh/sq.m)
12.0	Thermal Time Lag for High Mass Buildings (hours)
12. WIND PROTECTION OF OUTDOOR SPACES:	
8.5	Velocity above which Wind Protection is Desirable (m/s)
11.1	Dry Bulb Temperature Above or Below Comfort Zone (°C)
13. HUMIDIFICATION ZONE: (defined by and below Comfort Zone)	
14. DEHUMIDIFICATION ZONE: (defined by and above Comfort Zone)	

Figura 4.5 – Critérios métricos definidos pelo modelo “ASHRAE Standard 55 and Current Handbook of Fundamentals Comfort Model”

A escolha do modelo “ASHRAE Standard 55 and Current Handbook of Fundamentals Comfort Model” teve por base os resultados que este nos oferece, nomeadamente gráficos que serviram de apoio no estudo referente ao clima onde o edifício está inserido, para além de permitir obter gráficos que nos possibilitam o dimensionamento de proteções solares.

Podemos obter diferentes gráficos, tal como o apresentado na Figura 4.6, referente a médias horárias da temperatura de bolbo seco, temperatura de bolbo húmido, radiação global horizontal, radiação direta e radiação difusa.

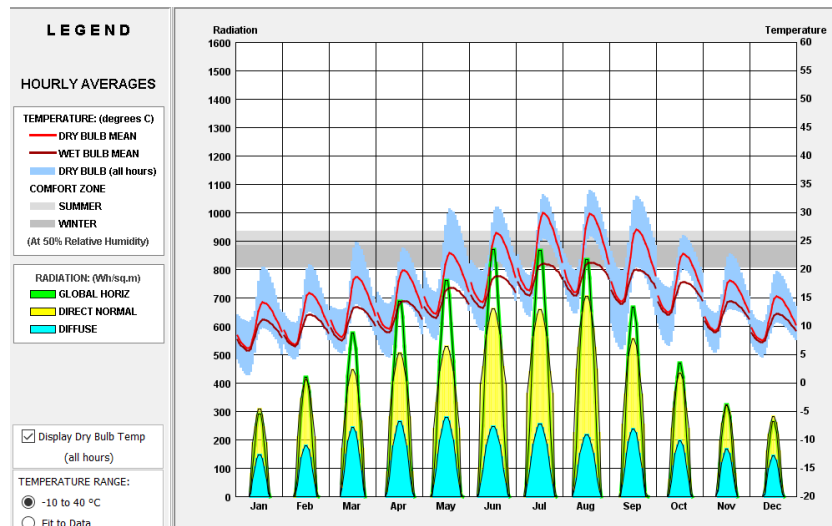


Figura 4.6 – Média Horária: Temperatura de Bolbo Seco, Temperatura de Bolbo Húmido, Radiação Global Horizontal, Radiação Direta e Radiação Difusa

Observando a Figura 4.6, as temperaturas em Vila Nova de Famalicão variam de Janeiro a Dezembro, sendo que nos meses de Verão as temperaturas atingem valores na ordem dos 34°C e no inverno as temperaturas podem atingir valores na ordem dos 2°C. É de salientar que o intervalo de conforto definido pelo software Climate Consultant situa-se entre os 20 °C e 27 °C. Portugal apresenta um clima temperado, caracterizado por Invernos moderadamente frios, Verões quentes e grandes amplitudes térmicas diárias. Deste modo, na presente dissertação foi definido um intervalo de conforto de acordo com o REH, considerando para o efeito um intervalo compreendido entre os 18 °C (Inverno) e 25 °C (Verão).

Um dos gráficos obtidos através do Climate Consultant, e de grande utilidade para o dimensionamento dos elementos de proteção solar, tal como palas horizontais e verticais, é o gráfico de proteção solar. Contrariamente às cartas solares de projeção horizontal com que estamos habituados a trabalhar, este gráfico representa uma projeção vertical. Torna-se assim mais um instrumento de grande utilidade para o dimensionamento das palas, e que será utilizado para o presente caso de estudo, mais concretamente na simulação 3. Observando as Figuras 4.7, 4.8 e 4.9, é possível compreender este método de dimensionamento das palas de sombreamento. Assim, orientando a fachada na qual se pretende incluir o elemento sombreador sobre o eixo horizontal dos gráficos das Figuras 4.8 e 4.9, é possível marcar o ângulo “a” (representando-o à esquerda) e o ângulo “b” (representando-o à direita). O ângulo “c” é definido sobre o eixo vertical. Definidos os ângulos, obtemos a cinzento a zona que está em sombra e a branco a zona que receberá radiação do sol

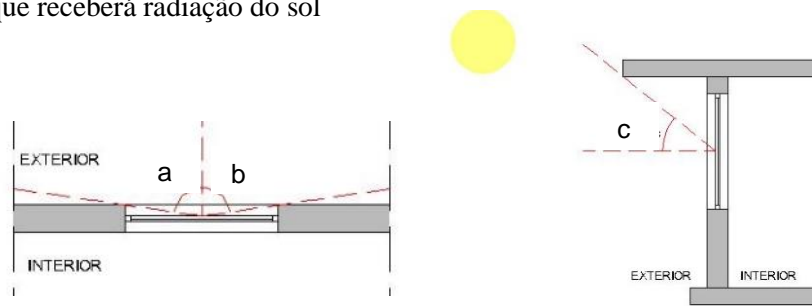


Figura 4.7 – Ângulos em planta à esquerda (a, b) e em corte à direita (c)

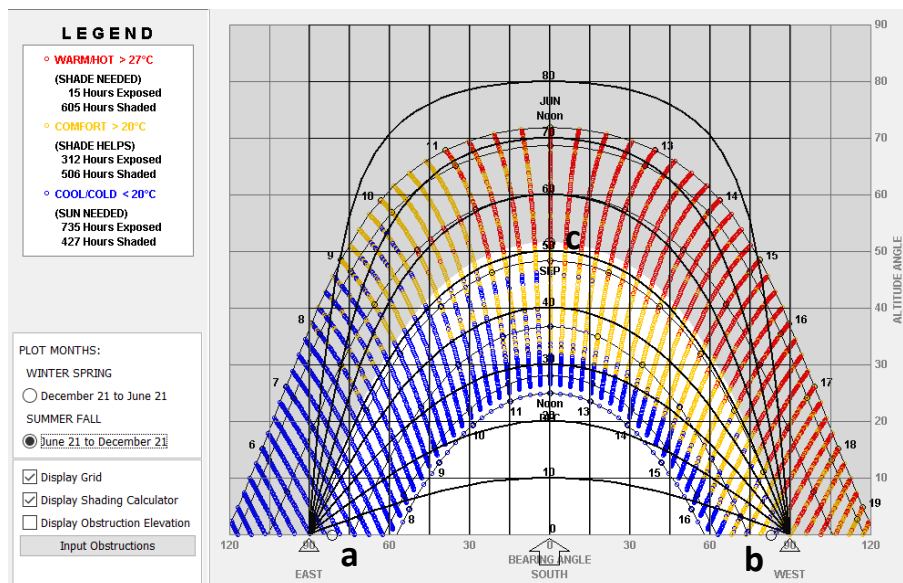


Figura 4.8 - Representação da Proteção solar entre 21 de Junho e 21 de Dezembro (Verão e Outono)

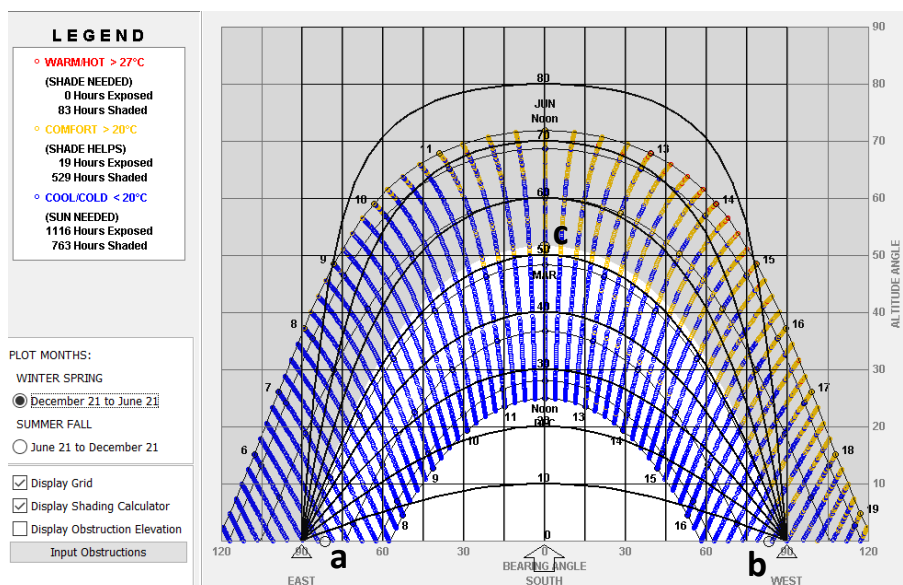


Figura 4.9 - Representação da Proteção solar entre 21 de Dezembro e 21 de Junho (Inverno e Primavera)

Esta representação revela-se bastante prática para apoiar o processo de dimensionamento, pois o próprio gráfico apresenta as temperaturas acima dos 27°C (representados a vermelho), as temperaturas entre os 20°C e os 27°C (representados a amarelo) e as temperaturas abaixo dos 20°C (representados a azul). Assim, com esta delimitação das temperaturas, poderemos dimensionar as palas verticais e/ou horizontais, procurando que os pontos vermelhos e amarelos fiquem sempre em sombra (fundo cinzento do gráfico) e os pontos azuis recebam a radiação do sol (fundo branco do gráfico).

Torna-se importante referir que as temperaturas que o software conhece são as temperaturas exteriores (inseridas pelo utilizador) e os limites de conforto que estabelecemos é para o interior. No entanto, o critério de proteger os vãos, pelo menos quando lá fora se atinge a temperatura de conforto, é um critério possível, atendendo a que pretendemos que dentro do edifício não esteja mais quente do que isso.

Os ventos mudam de direção e de intensidade, e podem representados através da roda dos ventos conforme a Figura 4.10. A representação desta roda dos ventos poderá ser realizada anualmente, mensalmente, sobre um período de análise escolhido, diariamente ou até horariamente. A Figura 4.10, representa a roda dos ventos anualmente para Vila Nova de Famalicão, a uma altitude de 98 m. Podemos observar que os ventos predominam entre Sul e Oeste, havendo um período do ano em que estes se observam a Este.

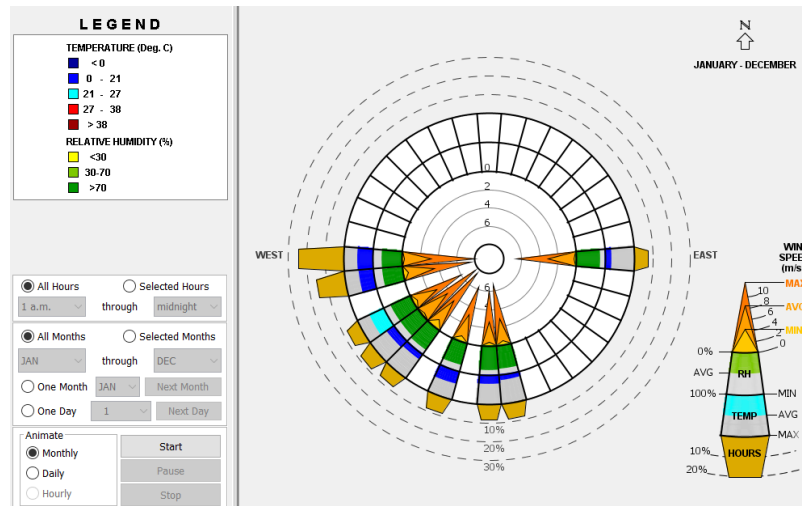


Figura 4.10 - Roda dos ventos para Vila Nova de Famalicão, definida anualmente

Com aplicação do segundo modelo “ASHRAE Standard 55 and Current Handbook of Fundamentals Comfort Model” e com aplicação das melhores estratégias sugeridas pelo software Climate Consultant para os dados climáticos de Vila Nova de Famalicão, com altitude de 98m, obteve-se o gráfico psicrométrico, representado na Figura 4.11.

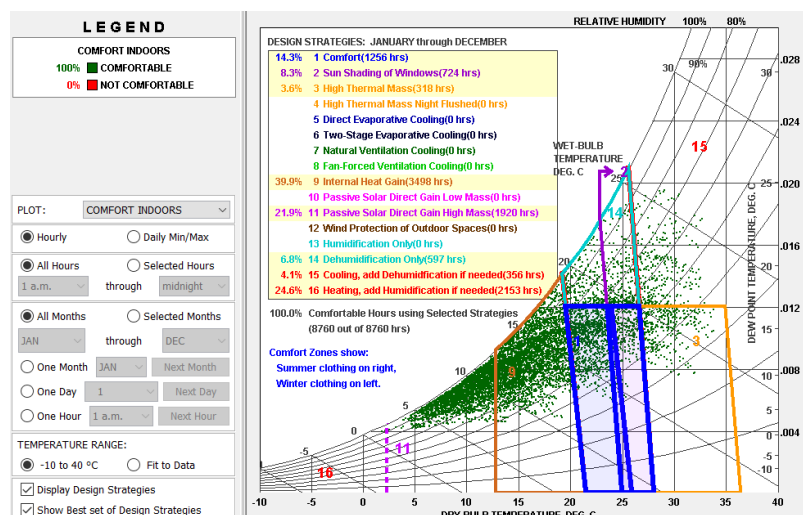


Figura 4.11 - Gráfico Psicrométrico para Vila Nova de Famalicão, com uma altitude de 98m, com “ASHRAE Standard 55 and Current Handbook of Fundamentals Comfort Model” e com as melhores estratégias sugeridas pelo software

Da observação do gráfico psicométrico, representado na Figura 4.11, é possível verificar a existência de duas zonas de conforto que correspondem a 1256 horas (14.3% do ano) e que estão assinaladas a azul, uma zona para verão mais à direita e a outra de inverno mais à esquerda.

Para além desta informação, o gráfico indica outras estratégias possíveis, tal como: proteção solar dos vãos envidraçados (8,3% das horas, representando 724 horas), utilização de elevada massa térmica (3,6% das horas, representando 318 horas), ganhos internos de calor (39,9% das horas, representando 3498 horas), ganhos solares diretos considerando massa térmica elevada (21,9% das horas, representando 1920 horas), desumidificação do ambiente (6,8% das horas, representando 597 horas), recurso a arrefecimento do espaço ou desumidificação se necessário (4,1% das horas, representando 356 horas) e recurso a aquecimento ou humedificação se necessário (24,6% das horas, representando 2153 horas). Algumas destas estratégias apresentadas, serão testadas mais adiante.

4.2.3. WINDOW V7.4

O WINDOW 7.4 é um software desenvolvido pelo Lawrence Berkley National Laboratory, que permite determinar as propriedades térmicas e óticas de vãos envidraçados e respetivos dispositivos de oclusão. Assim, com este programa é possível obter os parâmetros relacionados com as trocas de calor, nomeadamente o coeficiente de transmissão térmica, o fator solar e a transmitância visível, tanto para o vão envidraçado (caixilharia+vidro), como apenas para o sistema de vidros.

O Window 7.4 apresenta uma interface gráfica simples, sendo constituído essencialmente por sete bibliotecas: Window Library, Glass Library, Gap Library, Glazing System Library, Environmental Conditions Library, Frame Library, Divider Library.

Antes de escolher ou introduzir os elementos constituintes do vão envidraçado, é necessário definir as condições ambientais desejadas para as quais se irão processar os cálculos.

Na opção “**Environmental Conditions Library**” (Figura 4.12) existem já algumas opções definidas no programa. Inicialmente o programa apresenta quatro opções sendo uma delas definida pela normalização europeia (CEN), as restantes opções (NFRC - National Fenestration Rating Council) diferenciam-se nas temperaturas e na radiação.

	ID	Name	U-factor Tin	U-factor Tout	SHGC Tin	SHGC Tout	SHGC Solar
			C	C	C	C	W/m2
▶	1	NFRC 100-2010	21.0	-18.0	24.0	32.0	783
	2	NFRC 100-2010 Winter	21.0	-18.0	21.0	-18.0	0
	3	NFRC 100-2010 Summer	24.0	32.0	24.0	32.0	783
	4	CEN	20.0	0.0	25.0	30.0	500

Figura 4.12 - Janela “Environmental Conditions Library”

Na opção “**Glass Library**” (Figura 4.13) é apresentada uma vasta lista de tipos de vidros de inúmeros fabricantes, permitindo conhecer determinadas propriedades dos vidros necessárias para a realização dos respetivos cálculos.

ID	Name	ProductName	Manufacturer	Source	Mode	Color	Thickness	Tsol	Rsol1	Rsol2	Tvis	Rvis1	Rvis2	Tir	emis1	emis2	Cond
							mm										W/m-K
1135	GRP_BLD6.DUP	Butacite® 5142000	DuPont	IGDB v16.2	#		6.700	0.435	0.066	0.069	0.185	0.057	0.062	0.000	0.840	0.840	0.826
1134	GRP_BLD6.DUP	Butacite® 5151800	DuPont	IGDB v16.2	#		6.700	0.368	0.073	0.070	0.150	0.063	0.059	0.000	0.840	0.840	0.826
255	GrSi115_3.bsrf	Grey/Silver 15	Saint-Gobain Solar Garc	IGDB v16.3	#		3.251	0.069	0.351	0.649	0.063	0.136	0.608	0.000	0.840	0.730	0.965
256	GrSi120_3.bsrf	Grey/Silver 20	Saint-Gobain Solar Garc	IGDB v16.3	#		3.251	0.149	0.260	0.422	0.124	0.101	0.360	0.000	0.840	0.781	0.965
1747	GS10.ABF	GS 10	A & B Films Pte Ltd	IGDB v17.2			5.950	0.280	0.092	0.122	0.080	0.057	0.103	0.000	0.840	0.900	0.724
1744	GS15.ABF	GS 15	A & B Films Pte Ltd	IGDB v17.2			5.940	0.293	0.088	0.113	0.158	0.061	0.098	0.000	0.840	0.910	0.725
2528	GS18SRHPR.CPF	G18	Solutia Performance Filr	IGDB v18.2	#		3.050	0.212	0.331	0.210	0.173	0.290	0.101	0.000	0.840	0.783	0.939
1745	GS25.ABF	GS 25	A & B Films Pte Ltd	IGDB v17.2			5.950	0.351	0.084	0.103	0.267	0.063	0.090	0.000	0.840	0.920	0.978
1754	GS35.ABF	GS 35	A & B Films Pte Ltd	IGDB v17.2			5.930	0.393	0.091	0.106	0.369	0.074	0.096	0.000	0.840	0.920	0.726
259	GS10_3.bsrf	Grey/Silver/Grey 10	Saint-Gobain Solar Garc	IGDB v16.3	#		3.251	0.110	0.278	0.310	0.049	0.107	0.100	0.000	0.840	0.827	0.965
6501	GY_8.TGI	GY_8.TGI	Taiwan Glass Ind. Corp.	IGDB v25.0			7.800	0.375	0.050	0.052	0.353	0.049	0.051	0.000	0.840	0.840	1.000
2223	Gy90cl10.PGT	PGT Gray clear Lami10	PGT Industries	IGDB v13.5	#		10.241	0.461	0.054	0.054	0.584	0.063	0.063	0.000	0.840	0.840	0.546
2224	Gy90cl11.PGT	PGT Gray clear Lami11	PGT Industries	IGDB v13.5	#		11.638	0.381	0.051	0.051	0.489	0.058	0.058	0.000	0.840	0.840	0.577
2225	Gy90sb10.PGT	PGT Gray low e.043 Lz	PGT Industries	IGDB v13.5	#		10.241	0.238	0.163	0.296	0.490	0.069	0.079	0.000	0.840	0.840	0.546
2222	Gy90sb11.PGT	PGT Gray low e.043 Lz	PGT Industries	IGDB v13.5	#		11.638	0.199	0.121	0.295	0.410	0.062	0.076	0.000	0.840	0.840	0.577
2219	Gy90sb8.PGT	PGT Gray low e.043 Lz	PGT Industries	IGDB v13.5	#		8.844	0.243	0.163	0.331	0.494	0.069	0.080	0.000	0.840	0.840	0.509
2220	Gy90sg10.PGT	PGT Gray low e.215 Lz	PGT Industries	IGDB v13.5	#		10.241	0.402	0.062	0.082	0.555	0.064	0.068	0.000	0.840	0.840	0.546
2215	gyl516.pgt	PGT gray clear	PGT Industries	IGDB v13.1	#		8.450	0.496	0.062	0.063	0.603	0.065	0.066	0.000	0.840	0.840	0.490
3191	GylLam33.4.GRD	Gray laminate [3.1+].04 Guardian	IGDB v15.0	#			9.347	0.457	0.055	0.052	0.444	0.055	0.052	0.000	0.840	0.840	0.741
3192	GylLam44.4.GRD	Gray laminate [4mm+].0 Guardian	IGDB v15.0	#			10.719	0.442	0.054	0.051	0.441	0.055	0.052	0.000	0.840	0.840	0.774
3193	GylLam66.4.GRD	Gray laminate [6mm+].0 Guardian	IGDB v15.0	#			14.275	0.405	0.053	0.050	0.434	0.055	0.051	0.000	0.840	0.840	0.829
3194	GylLam66HP.GRD	Gray HP lami[6mm+].05 Guardian	IGDB v15.0	#			14.529	0.402	0.052	0.050	0.433	0.055	0.051	0.000	0.840	0.840	0.819
2216	gyle2516.pgt	PGT gray low e.2	PGT Industries	IGDB v13.1	#		8.630	0.415	0.096	0.071	0.544	0.074	0.068	0.000	0.840	0.840	0.477
2217	gyle2716.pgt	PGT gray low e.2	PGT Industries	IGDB v13.1	#		11.720	0.335	0.090	0.065	0.458	0.071	0.063	0.000	0.840	0.840	0.576
206	H40_3.bsrf	Hilite 40	Saint-Gobain Solar Garc	IGDB v17.4	#		3.276	0.274	0.299	0.394	0.420	0.059	0.066	0.000	0.840	0.750	0.950
202	H70_3.bsrf	Hilite 70	Saint-Gobain Solar Garc	IGDB v16.3	#		3.277	0.368	0.353	0.415	0.721	0.088	0.088	0.000	0.840	0.770	0.950
203	H70.8_3.bsrf	8 Mil Hilite 70	Saint-Gobain Solar Garc	IGDB v16.3	#		3.404	0.361	0.316	0.403	0.722	0.086	0.086	0.000	0.840	0.790	0.979

Figura 4.13 – Janela “Glass Library”

Na opção “Gap Library” (Figura 4.14) é apresentada uma lista de gases mais utilizados nos vãos envidraçados e as suas respectivas propriedades.

ID	Name	Type	Conductivity	Viscosity	Cp	Density	Prandtl
			W/m-K	kg/m-s	J/kg-K	kg/m3	
1	Air	Pure	0.024069	0.000017	1006.103271	1.292498	0.7197
2	Argon	Pure	0.016349	0.000021	521.928528	1.782282	0.6704
3	Krypton	Pure	0.008664	0.000023	248.090698	3.738740	0.6717
4	Xenon	Pure	0.005160	0.000021	158.339706	5.857955	0.6542
6	Air (5%) / Argon (95%)	Mix	0.016704	0.000021	539.729126	1.757792	0.6731
7	Air (12%) / Argon (88%)	Mix	0.011490	0.000023	322.703308	3.014770	0.6403
8	Air (5%) / Krypton (95%)	Mix	0.009191	0.000023	261.636230	3.616428	0.6640
9	Air (10%) / Argon (90%)	Mix	0.017063	0.000021	558.032715	1.733303	0.6758
100	Air - EN673	Pure	0.024169	0.000017	1008.000000	1.292498	0.7138
101	Argon - EN673	Pure	0.016345	0.000021	519.000000	1.782282	0.6674
102	Krypton - EN673	Pure	0.008707	0.000023	245.000000	3.738740	0.6557
103	Xenon - EN673	Pure	0.005119	0.000022	161.000000	5.857955	0.6771
104	Air (5%) / Argon (95%)	Mix	0.016705	0.000021	536.977966	1.757792	0.6700
105	Air (12%) / Argon (88%)	Mix	0.011531	0.000023	319.890289	3.014770	0.6291
106	Air (5%) / Krypton (95%)	Mix	0.009237	0.000023	258.634674	3.616428	0.6489

Figura 4.14 – Janela “Gas Library”

Na opção “Glazing System Library” (Figura 4.15) torna-se possível construir o sistema envidraçado pretendido, permitindo escolher o tipo de vidro desejado (simples, duplo) e qual o gás utilizado entre as folhas de vidro. Depois de criado o sistema de vidros é possível obter os valores de determinadas características do sistema em causa (fator solar, coeficiente U, etc.).

ID #: 65 Name: Vidro Duplo Incolor
 # Layers: 2 Tilt: 0° IG Height: 1000.00 mm
 Environmental Conditions: CEN IG Width: 1000.00 mm
 Comment:
 Overall thickness: 28.000 mm Mode: # Model Deflection

	ID	Name	Mode	Thick	Flip	Tsol	Rsol1	Rsol2	Tvis	Rvis1	Rvis2	Tir	E1	E2	Cond	Comment
Glass 1	11006	PLANILUX 6mm SGG	#	6.0	<input type="checkbox"/>	0.817	0.073	0.073	0.892	0.081	0.081	0.000	0.837	0.837	1.000	
Gap 1	1	Air		16.0												
Glass 2	11006	PLANILUX 6mm SGG	#	6.0	<input type="checkbox"/>	0.817	0.073	0.073	0.892	0.081	0.081	0.000	0.837	0.837	1.000	

Center of Glass Results | Temperature Data | Optical Data | Angular Data | Color Properties | Radiance Results

Ufactor	SC	SHGC	Rel. Ht. Gain	Tvis	Keff	Layer 1 Keff	Gap 1 Keff	Layer 2 Keff
W/m2-K			W/m2		W/m2-K	W/m2-K	W/m2-K	W/m2-K
3.008	0.872	0.758	566	0.802	0.1708	1.0000	0.1053	1.0000

Figura 4.15 – Janela “Glazing System Library”

Na opção “**Frame Library**” (Figura 4.16) é exibida uma lista dos tipos de materiais mais utilizados nas caixilharias e apresenta também valores das suas características, como por exemplo, o valor do respetivo coeficiente de transmissão térmica.

	ID	Name	Source	Type	Frame Uvalue	Edge Uvalue	Edge Correlation	Glazing Thickness	Pfd	Abs	Color
					W/m2-K	W/m2-K		mm	mm		
▶	1	Al w/break	ASHRAE	N/A	5.680	N/A	Class1	N/A	57.2	0.90	
	2	Al flush	ASHRAE	N/A	3.970	N/A	Class1	N/A	57.2	0.90	
	3	Wood	ASHRAE	N/A	2.270	N/A	Class1	N/A	69.8	0.90	
	4	Vinyl	ASHRAE	N/A	1.700	N/A	Class1	N/A	69.8	0.90	

Figura 4.16 – Janela “Frame Library”

Na opção “**Divider Library**” (Figura 4.17) torna-se possível especificar se a janela está ou não dividida com quadrículas e apresenta os tipos de materiais disponíveis.

	ID	Name	Source	Type	Uvalue	Edge Uvalue	Edge Correlation	Glazing Thickness	Pfd	Abs	Color
					W/m2-K	W/m2-K		mm	mm		
▶	1	Alum/Divided	ASHRAE	N/A	N/A	N/A	Class1	N/A	15.9	0.90	
	2	Butyl/Divided	ASHRAE	N/A	N/A	N/A	Class2	N/A	15.9	0.90	
	3	Wood/Divided	ASHRAE	Suspend	N/A	N/A	Class3	N/A	15.9	0.90	
	4	Insul/Divided	ASHRAE	Suspend	N/A	N/A	Class4	N/A	15.9	0.90	
	5	Alum/Suspended	ASHRAE	Suspend	N/A	N/A	Class5	N/A	16.0	0.30	
	6	Vinyl/Suspended	ASHRAE	N/A	N/A	N/A	Class1	N/A	16.0	0.30	

Figura 4.17 – Janela “Divider Library”

A opção “**Window Library**” (Figura 4.18) permite compor o vão envidraçado por completo, conjugando o sistema de vidros e o tipo de material para as caixilharias escolhidos. Também é necessário introduzir as dimensões da janela e o tipo de janela.

ID # 7
 Name Vidro Duplo Incolor
 Mode CEN
 Type Custom Dual Vision Horiz >>
 Width 1000 mm
 Height 1000 mm
 Area 1.000 m2
 Tilt 90
 Environmental Conditions CEN

Total Window Results
 U-factor 3.674 W/m2-K
 SHGC 0.727
 VT 0.588
 CR N/A

Click on a component to display characteristics below
 Glazing System
 Name Vidro Duplo Incolor >>
 ID 65 Ucenter 2.699 W/m2-K
 Nlayers 2 SC 0.872
 Area 0.218 m2 SHGC 0.758
 Edge area 0.149 m2 Vtc 0.802

Figura 4.18 – Janela “Window Library”

Depois de todo o processo de seleção e escolha do vão envidraçado, o programa WINDOW7.4, possibilita obter algumas características do vão envidraçado tal como: coeficiente de transmissão térmica (U-factor), fator solar (SHGC), coeficiente de transmissão luminosa (VT). O software WINDOW7.4 permitiu realizar um estudo referente aos vãos envidraçados, permitindo simular 12 soluções de vidro simples e duplo, previamente escolhidas das quais resultaram cinco soluções de vidro simples e sete de vidro duplo.













Dos vidros simples, foram simulados: um simples incolor (1), um vidro simples claro (2), por transmitir maior quantidade de luz, um simples com capa de controlo solar (5), por ter a capacidade de “filtrar” a luz solar, e ainda, um colorido (3) e um refletante (4), por serem soluções particulares a nível estético. As soluções definidas para vidro duplo apresentam propriedades de baixa emissividade, com exceção da solução de vidro duplo incolor (6), que é uma solução bastante comum na construção em Portugal. Assim resultaram, além deste, um baixo emissivo (7), três baixos emissivos com controlo solar (8, 9 e 10), um baixo emissivo refletante (11) e um baixo emissivo colorido (12).

Torna-se importante explicar a nomenclatura utilizada na referência às várias faces dos vidros de um vidro duplo. Assim, partindo do exterior para o interior:

- Face 1: face exterior do vidro exterior, única face em contacto com o ambiente exterior;
- Face 2: face interior do vidro exterior, em contacto com a câmara de preenchimento;
- Face 3: face exterior do vidro interior, em contacto com a câmara de preenchimento;
- Face 4: face interior do vidro interior, única face em contacto com o ambiente interior do edificio.

No Quadro 4.1 são apresentadas os resultados das 12 simulações referentes aos vãos envidraçados. É de salientar que as simulações são referentes a janelas fixas, com caixilharia em alumínio e corte térmico, de dimensões 1,0 m x 1,0 m. Contudo, no Anexo E (Simulação 2: alteração de vãos envidraçados) são apresentadas as soluções de vãos envidraçados referentes ao caso de estudo, também simuladas no software WINDOW7.4.

Quadro 4.1 – Simulação de vãos envidraçados no Software WINDOW7.4

Referência	Solução de Envidraçado	Esp. [mm]	Tvis	g _⊥	U [W/m ² .C°]
1	 Simples incolor	Vidro 6	0,700	0,813	5,720
2	 Simples claro	Vidro 8	0,711	0,841	5,669
3	 Simples colorido	Vidro 8	0,314	0,639	5,669
4	 Simples refletante	Vidro 8	0,245	0,547	5,669
5	 Simples com capa controlo solar	Vidro 8	0,157	0,428	5,720
6	 Duplo incolor	Vidro 6 Ar 16 Vidro 6	0,629	0,733	3,469
7	 Duplo baixo emissivo	Vidro 6 Ar 16 Vidro 6	0,614	0,603	2,602
8	 Duplo baixo emissivo e com controlo solar	Vidro 6 Ar 16 Vidro 6	0,548	0,458	2,602
9	 Duplo baixo emissivo com controlo solar de elevado rendimento	Vidro 6 Ar 16 Vidro 6	0,392	0,357	2,561
10	 Duplo baixo emissivo com controlo solar por seletividade espectral	Vidro 6 Ar 16 Vidro 6	0,389	0,323	2,567
11	 Duplo baixo emissivo e refletante	Vidro 6 Ar 16 Vidro 6	0,368	0,413	2,602
12	 Duplo baixo emissivo e colorido	Vidro 6 Ar 16 Vidro 6	0,297	0,453	2,602

Após a seleção dos vãos envidraçados correspondentes ao projeto da moradia Portas do Sol , o WINDOW V7.4 permitiu exportar de forma simples, todas as propriedades relativas dos vãos envidraçados para o software Design Builder.

4.2.4. DESIGN BUILDER V4.7.0.027

O Energy Plus é o programa de simulação dinâmica desenvolvido pelo Departamento de Energia dos Estados Unidos (United States Department of Energy) para avaliação do desempenho energético de edifícios. Este programa permite analisar sistemas de aquecimento, arrefecimento, iluminação, ventilação, entre outros, e proporciona também várias capacidades inovadoras de simulação, tais como simulações dos consumos energéticos numa base horária e sub-horária, simulação de zona ou multi-zona baseada no equilíbrio térmico, conforto térmico, entre outros. Contudo, o Energy Plus não apresenta uma interface “amigável”, o que dificulta a introdução de dados no programa. No entanto este programa permite o desenvolvimento independente de outras ferramentas, o que resulta na adoção do Design Builder como uma interface de maior facilidade de utilização.

No procedimento da simulação dinâmica no programa Design Builder, a implementação de dados do edifício em geral ou de uma zona é feita através de cinco separadores:

- Activity – dados referentes ao tipo de atividade realizada em determinada zona. Exemplo: horário e densidade de ocupação, densidade de iluminação, densidade de equipamentos, taxa de metabolismo, consumo de água quente sanitária, volume de ar novo insuflado, etc.;
- Construction – dados referentes ao tipo de construção e material de todas as soluções construtivas;
- Openings – dados referentes a aberturas no edifício. Exemplo: janelas, proteções opacas exteriores ou interiores, portas, tipo de vidro, etc.;
- Lighting – dados referentes à iluminação. Exemplos: tipo de iluminação, perfil de utilização de iluminação, etc.;
- HVAC – dados referentes aos equipamentos de climatização, aquecimento de águas sanitárias, ventilação natural e mecânica. Exemplos: energia auxiliar utilizada nos equipamentos de AVAC, tipo de energia utilizado em cada tipo de sistema, etc.

Iniciamos a inserção dos dados mediante um novo projeto, introduzindo desde logo os dados relativos à localização do edifício a analisar. O Design Builder dispõe de uma variada lista de templates correspondentes a diversas localizações de vários países, de onde podemos selecionar o template referente a Portugal. Desta forma o software assume automaticamente as características típicas da localização escolhida, nomeadamente temperaturas, condições climatéricas, período de duração das estações de aquecimento e arrefecimento, entre outras.

Os dados climáticos relativos à cidade de Vila Nova de Famalicão, foram conseguidos mediante software disponibilizado pelo LNEG (Laboratório Nacional de Energia e Geologia). O LNEG providencia dados e software para o SCE - Sistema Nacional de Certificação de Edifícios, Decreto-Lei n.º118/2013, de 20 de agosto, que transpõe para Portugal (com as Portarias e Despachos conexos) a Diretiva Europeia sobre o Desempenho Energético de Edifícios. A aplicação “CLIMAS-SCE”, representada na Figura 4.19, permite selecionar o município, especificar a altitude que se pretende, obtendo deste modo as estatísticas climatológicas e o Ano Meteorológico de Referência respetivos para executar simulações dinâmicas de sistemas e edifícios. Os dados vêm corrigidos com a altitude do lugar.

Os formatos dos ficheiros meteorológicos estão disponíveis em: ".EPW" para simulação dinâmica geral, e ".DAT" adequado a cálculo dinâmico simplificado, com temperatura e radiação solar na horizontal e em 8 superfícies verticais.

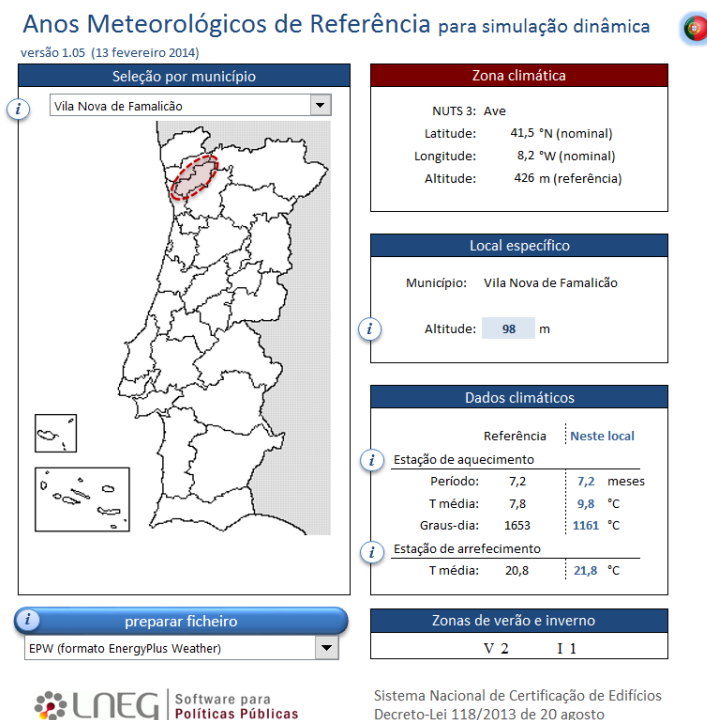


Figura 4.19 - Aplicação "CLIMAS-SCE" para o Município de Vila Nova de Famalicão e Altitude 98 m

A Figura 4.20 apresenta a janela de abertura de um novo projeto no Design Builder.



Figura 4.20 - Design Builder - janela de novo projeto

Após a introdução do novo projeto e da respetiva localização, segue-se a conceção do modelo geométrico do edifício. Nesta fase foi introduzida toda a geometria do edifício a analisar recorrendo a ferramentas de desenho assistido por computador, criando assim o modelo que será a base de todo o projeto. A Figura 4.21 apresenta o modelo geométrico concluído, o qual representa toda a geometria do edifício, incluindo todas as divisões interiores e orientação.

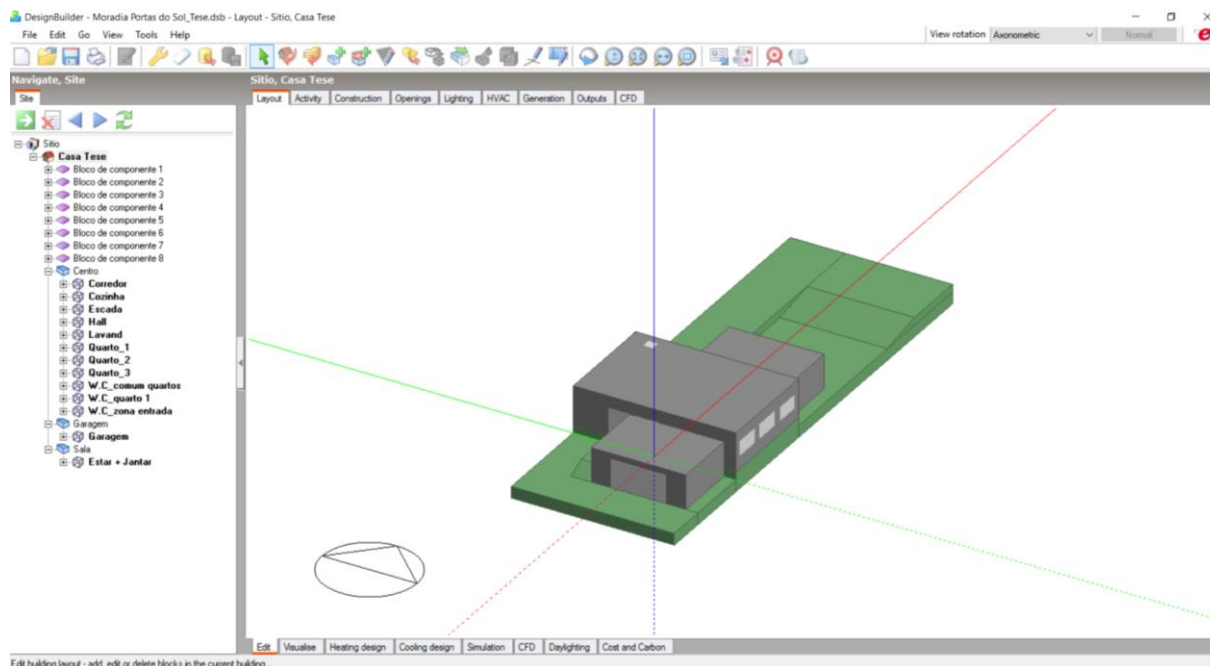


Figura 4.21 – Design Builder - Modelo geométrico do projeto referente ao caso de estudo, moradia Portas do Sol

Com o modelo geométrico concluído, tornou-se necessário identificar cada zona e as atividades associadas. A identificação da atividade associada a cada zona é relevante pois tem grande influência na maior parte dos ganhos térmicos internos, influenciando deste modo os requisitos de aquecimento, arrefecimento e/ou ventilação. O Design Builder apresenta um separador destinado à seleção da atividade, onde é possível escolher e/ou definir os requisitos pretendidos para cada zona do edifício. Para este parâmetro o Design Builder dispõe também de uma variada lista de templates pré-definidos que referem as características gerais de uma dada atividade para uma determinada zona. Ao selecionar uma dada atividade, o Design Builder associa automaticamente fatores como a ocupação, requisitos de temperatura, renovação de ar, iluminação e equipamentos. Estes valores podem ainda ser editados e alterados quando necessário, de modo a adequá-los ao edifício em análise. Os dados utilizados para o presente caso de estudo, referentes à potência e horários de utilização dos equipamento e os horários de ocupação constam no Anexo D (Horários e perfis de utilização da moradia Portas do Sol), e constam nos templates do software. A Figura 4.22 apresenta a janela de seleção da atividade.

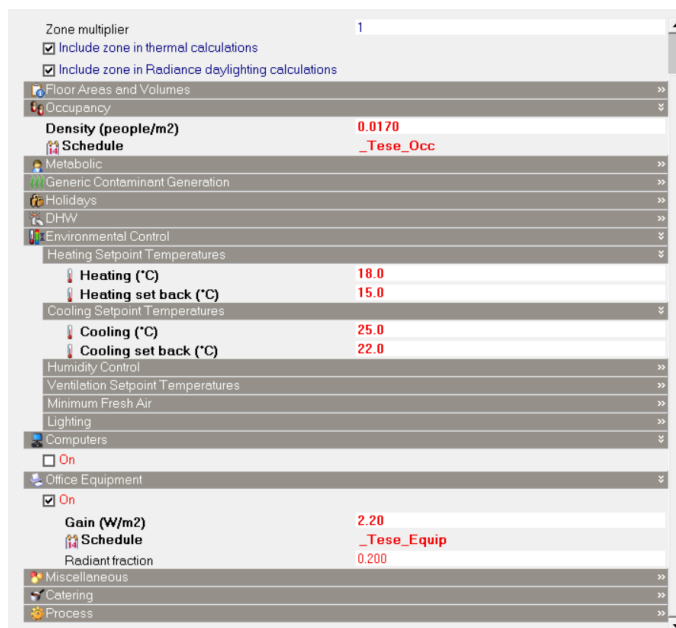


Figura 4.22 – Design Builder - janela de seleção do tipo de atividade

A fase seguinte consiste em definir o modelo de simulação consoante a caracterização construtiva do edifício. Tal como no caso da escolha da atividade mediante determinada zona, o Design Builder tem também um separador destinado à caracterização construtiva, onde podem ser definidas as principais propriedades de toda a envolvente opaca (exterior e interior) do edifício. A especificação das características construtivas dita o desempenho energético da envolvente opaca, tendo grande impacto nas necessidades de aquecimento e arrefecimento, bem como nas condições de conforto dos ocupantes. Para definir as características construtivas de um determinado elemento é possível utilizar modelos pré-definidos disponíveis na base de dados do software, ou criar uma nova caracterização específica. Os diferentes tipos de materiais de construção são também disponibilizados pelo Design Builder, sendo possível introduzir novos materiais e soluções construtivas. A caracterização construtiva relativa à envolvente opaca referente ao caso de estudo, teve por base o projeto de arquitetura, estando estes elementos presentes no Anexo B (Caracterização construtiva da moradia Portas do Sol). A Figura 4.23 representa o separador destinado à caracterização construtiva do modelo do edifício no software Design Builder.

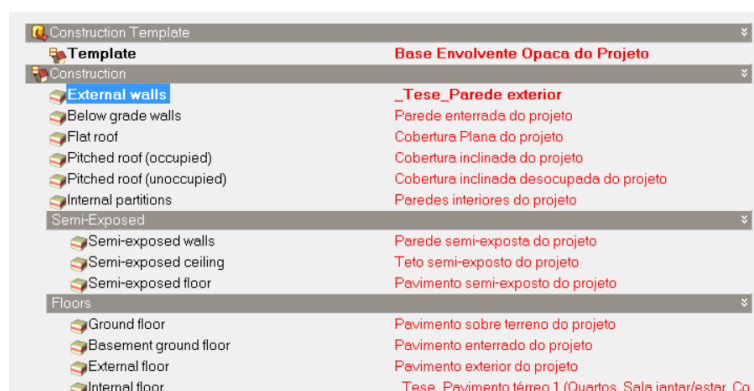


Figura 4.23 – Design Builder - janela de caracterização construtiva para os elementos da envolvente opaca

A Figura 4.24 mostra a janela de edição da caracterização construtiva para o exemplo de uma parede exterior. Nesta figura é possível observar a definição das diferentes camadas do elemento e os respetivos materiais constituintes.

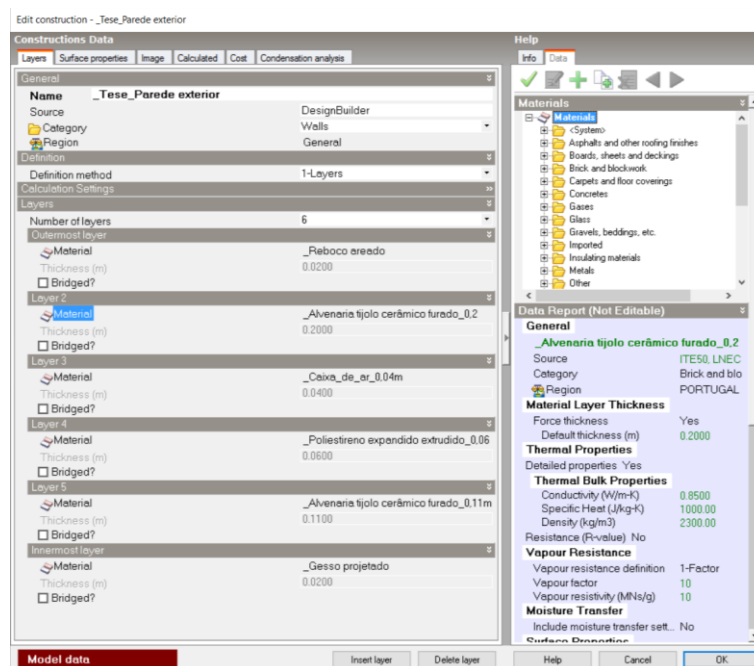


Figura 4.24 - Design Builder - janela de edição da caracterização construtiva para o exemplo de uma parede exterior

O Design Builder apresenta também as propriedades de cada material, nomeadamente o coeficiente de transmissão térmica, densidade, resistência térmica, entre outros. A caracterização de outros elementos construtivos, como pavimentos e coberturas, é realizada de forma análoga à apresentada na Figura 4.24.

De seguida foi realizada a seleção do tipo de vãos envidraçados. Tal como nos parâmetros de atividade e caracterização construtiva, o Design Builder apresenta um separador destinado à caracterização dos vãos envidraçados. Neste separador é possível escolher o tipo de envidraçado a partir de uma lista disponibilizada pelo software que inclui diversos modelos pré-definidos, ou ainda criar um novo modelo de envidraçado consoante os requisitos pretendidos. Ainda dentro deste parâmetro é possível selecionar o tipo de sistema de sombreamento e um plano de utilização (caso este não seja um sistema fixo). A caracterização construtiva relativa à envolvente não opaca referente ao caso de estudo, teve por base o projeto de arquitetura, estando estes elementos presentes no Anexo B (Caracterização construtiva da moradia Portas do Sol). A Figura 4.25 apresenta o separador destinado à seleção do tipo de vão envidraçado.

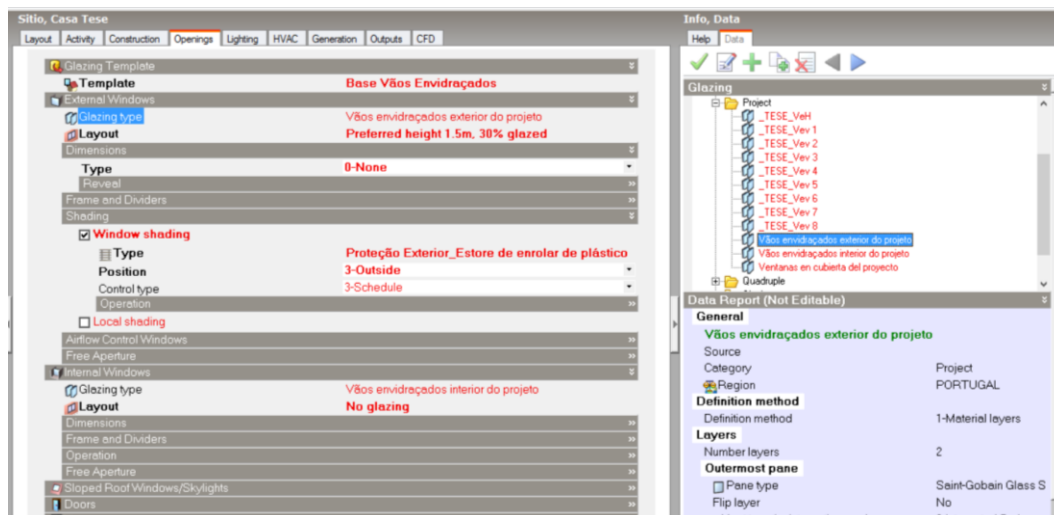


Figura 4.25 - Design Builder - janela de selecção do tipo de vão envidraçado

Para completar a conceção do modelo do edifício no Design Builder é necessário fazer também referência à iluminação e sistemas AVAC. Quanto à iluminação, o Design Builder dispõe de templates pré-definidos que, tal como o parâmetro da atividade, podem ser seleccionados consoante a zona a que se destinam. Desta forma o programa associa automaticamente o desempenho da iluminação e os respetivos consumos de energia dependendo da zona selecionada. Os dados referentes à potência e horários de iluminação constam no Anexo D (Horários e perfis de utilização da moradia Portas do Sol). A Figura 4.26 mostra a janela do programa onde é efetuada a seleção do template de iluminação para uma determinada zona.

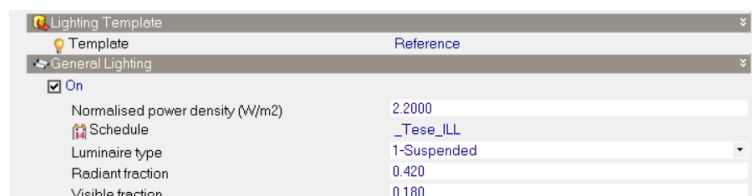


Figura 4.26 - Design Builder - janela de seleção do modo de iluminação de uma determinada zona

Quando se pretende definir um sistema AVAC, como será necessário no presente caso de estudo, o Design Builder apresenta um separador reservado aos sistemas AVAC onde podem ser definidos os principais parâmetros de ventilação, aquecimento, arrefecimento e preparação de águas quentes sanitárias (AQS). Mais uma vez o software dispõe de uma lista de templates de onde pode ser selecionado o modelo. Caso seja necessário, é possível selecionar e/ou alterar parâmetros como a utilização de ventilação mecânica e/ou natural, o tipo de fonte de energia para aquecimento e/ou arrefecimento (eletricidade, gás natural, etc), entre outros. Existem dois tipos de simulação de sistemas: Simple e Detailed. Na simulação Simple, são criados objetos de climatização “ideais” que asseguram que se mantenham as temperaturas nos intervalos escolhidos, fornecendo às zonas ar quente ou frio. Na simulação Detailed são utilizados os templates Compact HVAC do EnergyPlus que permitem, com a definição de poucos parâmetros, criar sistemas complexos com os vários elementos que os contêm. Para o presente caso de estudo, foi implementado um sistema de climatização Simple, ou seja, em cada zona climatizada foi considerado um objeto Ideal Loads Air System. A simulação do edifício permitiu obter as necessidades energéticas de cada espaço, em cada hora do ano, para que sejam mantidas as

temperaturas de conforto pretendidas. Desta forma, foi possível determinar as necessidades de arrefecimento e de aquecimento das unidades terminais de cada zona. Foi implementado um termostato, associado ao Ideal Loads Air System de cada zona, indicando que as temperaturas interiores devem oscilar entre 18°C e 25°C (intervalo de conforto), quando os espaços estão ocupados (segundo horários de ocupação presentes no Anexo D). A Figura 4.27 representa o separador que diz respeito aos sistemas AVAC.

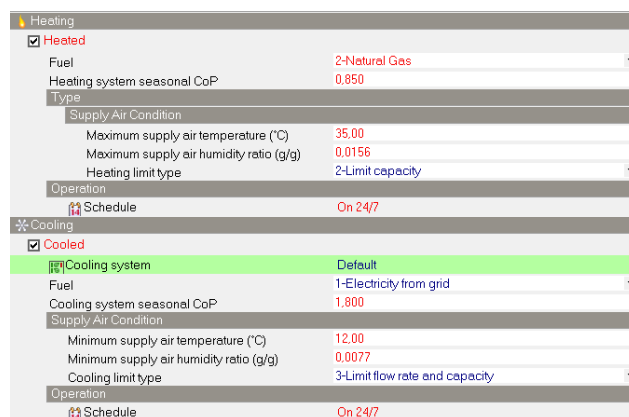


Figura 4.27 - Design Builder - janela de seleção de sistemas AVAC

Uma importante característica no cálculo de fluxos de calor é a ventilação, natural ou mecânica, do edifício/compartimentos, pois com a renovação do ar as necessidades de aquecimento ou arrefecimento sofrem variações. Deste modo, foi considerado o valor de 0.6 rph resultado das infiltrações externas. Contudo para os meses mais quentes (Junho, Julho, Agosto e Setembro) admitiu-se ventilação noturna, considerando para o efeito 4 rph.

Por fim, após a conceção do modelo estar completa, o desempenho energético do edifício pode ser determinado através de simulações dinâmicas para o período de tempo pretendido. No final de cada simulação o Design Builder proporcionou uma análise detalhada do desempenho do edifício em relação a diversos parâmetros, apresentando todos os resultados em forma de gráficos, tabelas e/ou grelhas. Contudo, para as simulações realizadas, optou-se pela exportação dos resultados para o Excel, de modo a facilitar o tratamento de dados.

4.3. SIMULAÇÕES E RESULTADOS

4.3.1. SIMULAÇÃO 1 – EDIFÍCIO REAL

A simulação 1 pretende transpor o cenário relativo ao edifício real, ou seja, o edifício como é descrito no projeto de arquitetura. Numa primeira fase procedeu-se à simulação do edifício sem qualquer sistema de aquecimento e arrefecimento implementado (simulação 1.1) permitindo observar o comportamento térmico do edifício na ausência de sistemas ativos. Procurou-se apresentar apenas os compartimentos com resultados representativos, por forma a não tornar repetitiva a análise efetuada. Assim sendo, para a análise efetuada deu-se especial ênfase aos seguintes compartimentos do edifício: a sala de estar/jantar, cozinha, quarto 1, instalação sanitária (quarto 1) e instalação sanitária (zona entrada). Para as divisões consideradas foram analisados resultados relativos a:

- Conforto do utilizador do edifício, considerando para tal um intervalo de conforto compreendido entre os 18 °C e 25 °C. Aqui serão interpretados resultados referentes a temperatura do ar interior, temperatura radiante, temperatura operativa e temperatura de bolbo seco do ar exterior à edificação.
- Balanço térmico diurno (das 7:00 horas às 19:00 horas) e noturno (das 19:00 horas às 7:00 horas); para estação de aquecimento (Janeiro, Fevereiro, Novembro e Dezembro) e arrefecimento (Junho, Julho, Agosto e Setembro); referente aos ganhos e perdas de calor do compartimento através dos diversos materiais constituintes da envolvente opaca e não opaca (vidros, paredes exteriores, tetos, pavimentos, divisórias, cobertura); renovações de ar na edificação (ventilação natural e infiltração); ganhos de calor do compartimento através da radiação solar que passa através do envidraçado e ganhos internos (equipamentos, ocupação e iluminação).

Todavia foram obtidos resultados a nível global do edifício, obtendo-se resultados do balanço térmico diurno (das 7:00 horas às 19:00 horas) e noturno (das 19:00 horas às 7:00 horas), para estação de aquecimento (Janeiro, Fevereiro, Novembro e Dezembro), arrefecimento (Junho, Julho, Agosto e Setembro) e anual (Janeiro a Dezembro); referente aos ganhos e perdas de calor do edifício através dos diversos elementos constituintes da envolvente exterior (vidros, paredes, tetos, pavimentos, divisórias, cobertura, infiltração externa); renovações de ar na edificação (ventilação natural e infiltração); ganhos de calor do edifício através da radiação solar que passa através dos envidraçados e ganhos internos (equipamentos, ocupação e iluminação). Posteriormente implementaram-se os sistemas ativos, considerando aquecimento com recurso a gás natural e arrefecimento com recurso a eletricidade (simulação 1.2), permitindo obter, de modo global do edifício, as necessidades energéticas na climatização inerente às condições térmicas definidas.

Torna-se importante referir que os resultados obtidos e representados nos gráficos do balanço térmico, referem-se às trocas de calor dos vários elementos construtivos com o ambiente interior, sendo que os valores positivos representam os ganhos que o ambiente interior adquire através de determinado elemento construtivo, e os valores negativos representam as perdas que ocorrem no ambiente interior através de determinado elemento construtivo.

Expostos os objetivos, nos subcapítulos 4.3.1.1 e 4.3.1.2, são apresentadas as simulações 1.1 e 1.2 respetivamente.

4.3.1.1. SIMULAÇÃO 1.1 – EDIFÍCIO REAL SEM SISTEMAS ATIVOS

A presente simulação visa mostrar o edifício real sem recurso a sistemas ativos de aquecimento e arrefecimento, ou seja, o edifício real passivo. Nas figuras que se seguem, estão representados os resultados das simulações efetuadas, já descritas anteriormente, respetivas aos compartimentos enunciados (sala de estar/jantar, cozinha, quarto 1, instalações sanitárias do quarto 1 e da zona de entrada) e a nível global do edifício.

A Figura 4.28, refere-se ao compartimento da **sala de estar/jantar**. Aqui é possível observar que as temperaturas no interior da sala de estar/jantar oscilam entre os 13,96 °C (25 de Janeiro, 7:00h) e os 36,58 °C (5 de Setembro, 14:00 h).

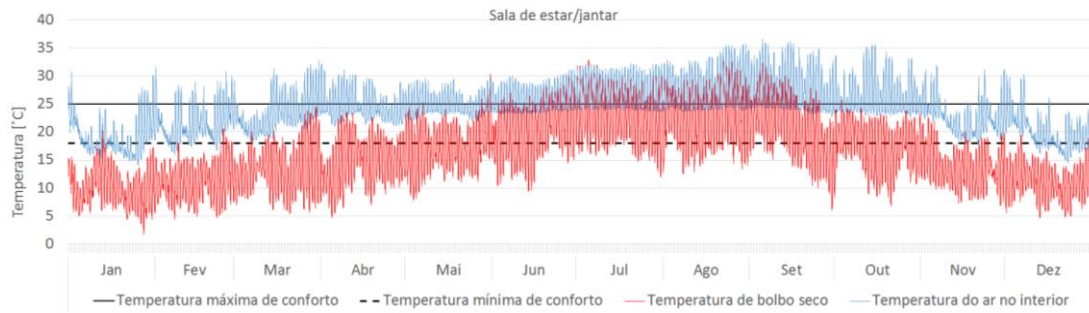


Figura 4.28 – Sala de estar/jantar: temperatura do ar no interior, temperatura de bolbo seco, temperatura máxima (25°C) e mínima (18°C) de conforto

O dia 23 de Agosto, apresenta a temperatura exterior mais elevada do ano (33,73°C), enquanto o dia 27 de Janeiro registra a temperatura exterior mais baixa do ano (1,60°C). Nas Figuras 4.29 e 4.31, apresenta-se a evolução das temperaturas – exterior, interior, radiante e operativa – para o dia 23 de Agosto e 27 de Janeiro respetivamente. Antes de avançar para a análise dos gráficos, convém esclarecer algumas definições, nomeadamente da temperatura média radiante e a temperatura operativa. A temperatura média radiante é expressa em °C e define-se como sendo a temperatura uniforme da superfície de um compartimento virtual, no qual as trocas de calor por radiação entre as superfícies desse compartimento e o corpo humano são iguais às trocas de calor por radiação que ocorrem no espaço real, calcula-se através da média ponderada das temperaturas superficiais dos elementos das envolventes do espaço onde se encontra o ocupante, incluindo o efeito da radiação solar incidente. A temperatura operativa é expressa em °C e define-se como sendo a média entre a temperatura do ar e a temperatura média radiante.

Pela observação do gráfico representado na Figura 4.29, referente ao dia 23 de Agosto, verificamos que a temperatura do ar no interior se encontra fora do intervalo de conforto, exceto entre as 02:00 h e as 07:00 h. Todavia, entre as 09:00h e as 20:00h, a temperatura do ar interior e a temperatura radiante apresentam valores muito próximos, contrariamente às restantes horas, em que se observa maior diferença entre estas. Contudo, a temperatura radiante assume um valor superior à temperatura do ar no interior, excetuando entre 13:00 h e as 20:00h.

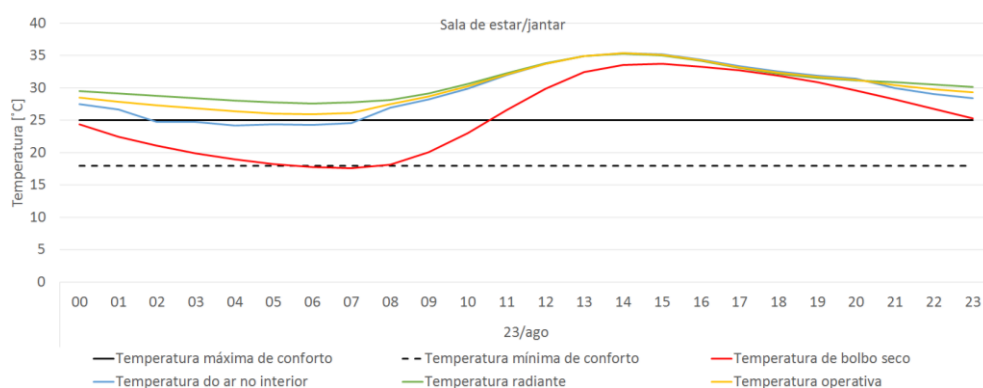


Figura 4.29 – Sala de estar/jantar: temperatura de bolbo seco, temperatura interior, temperatura radiante, temperatura operativa, temperatura máxima (25°C) e mínima (18°C) de conforto – para o dia 23 de Agosto

Na Figura 4.30, apresenta-se para o dia 23 de Agosto, os intervalos de temperaturas no interior do compartimento para as 24 horas do dia.



Figura 4.30 – Sala de estar/jantar: Intervalos de temperaturas para as 24 horas do dia - 23 de Agosto

Pela observação da Figura 4.30, interpretamos que, entre as 11:00 h e as 20:00 h, se fazem sentir maiores afastamentos face ao limite máximo do intervalo de conforto, chegando mesmo a haver temperaturas no interior do compartimento superiores a 30 °C. Isto poderá explicar-se pelo fato do compartimento apresentar fachada exposta a Sul e sem qualquer elemento de proteção solar (por exemplo, palas de sombreamento), sendo por isso alvo da forte radiação solar. Acresce-se a isto, a excessiva área do vão envidraçado associado a este compartimento (5,30 m x 2,80 m). Contudo, apenas entre as 02:00 h e as 07:00h é que obtemos temperaturas dentro do intervalo de conforto (18 °C a 25 °C).

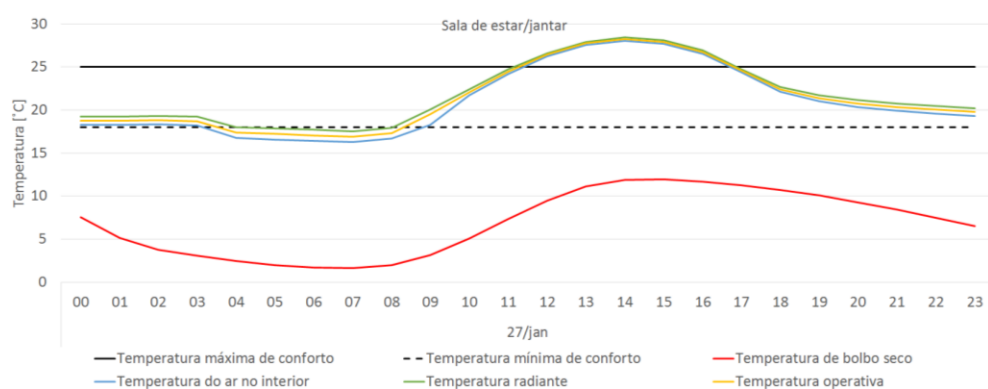


Figura 4.31 - Sala de estar/jantar: temperatura de bolbo seco, temperatura interior, temperatura radiante, temperatura operativa, temperatura máxima (25°C) e mínima (18°C) de conforto – para o dia 27 de Janeiro

Observando o gráfico representado na Figura 4.31, referente ao dia 27 de Janeiro, verificamos que a temperatura do ar no interior se encontra fora do intervalo de conforto entre as 04:00 h e as 08:00 h e entre as 12:00 h e as 16:00. Torna-se perceptível, ao longo das 24 horas do dia a temperatura do ar interior e a temperatura radiante apresentam valores muito próximos. Contudo, observa-se que a temperatura radiante assume um valor sempre superior à temperatura do ar no interior.

Na Figura 4.32, apresenta-se para o dia 27 de Janeiro, os intervalos de temperaturas no interior do compartimento para as 24 horas do dia.

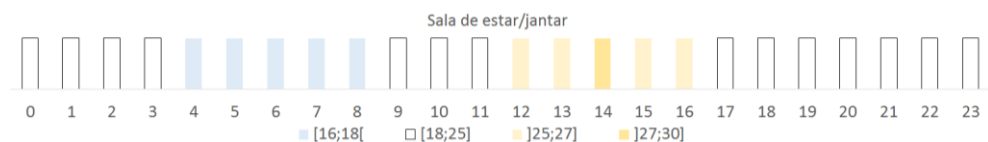


Figura 4.32 – Sala de estar/jantar: Intervalos de temperaturas para as 24 horas do dia - 27 de Janeiro

Da observação da Figura 4.32, interpretamos que, entre as 12:00 h e as 16:00 h, se fazem sentir maiores afastamentos face ao limite máximo do intervalo de conforto, chegando mesmo a haver temperaturas no interior do compartimento compreendidas entre os 25 °C e os 30 °C; sendo que às 14:00 h a temperatura no interior é superior a 30 °C. Nas restantes horas do dia, obtemos temperaturas dentro do intervalo de

conforto; excetuando entre as 04:00 h e as 08:00 h, onde as temperaturas estão compreendidas entre os 16 °C e 18 °C.

Todavia, é de evidenciar, pela observação da Figura 4.32 (dia 27 de Janeiro - dia típico de Inverno), que as temperaturas no interior do compartimento oscilam entre os 16 °C e 30 °C. Pela observação da Figura 4.28 (observando os meses de Inverno), verificamos também elevadas temperaturas atingidas no interior do compartimento. Contudo, estas temperaturas elevadas, são na realidade uma situação pouco comum no Inverno, podendo ser seguramente explicado, pela inexistência de proteção solar associada a uma área excessiva de vão envidraçado (5,30 m x 2,80 m), ou até à falta de ventilação do compartimento.

Na Figura 4.33, apresenta-se, para todos os meses do ano, a percentagem de horas em que a temperatura (°C) no interior do compartimento se situa em diferentes intervalos de temperatura.

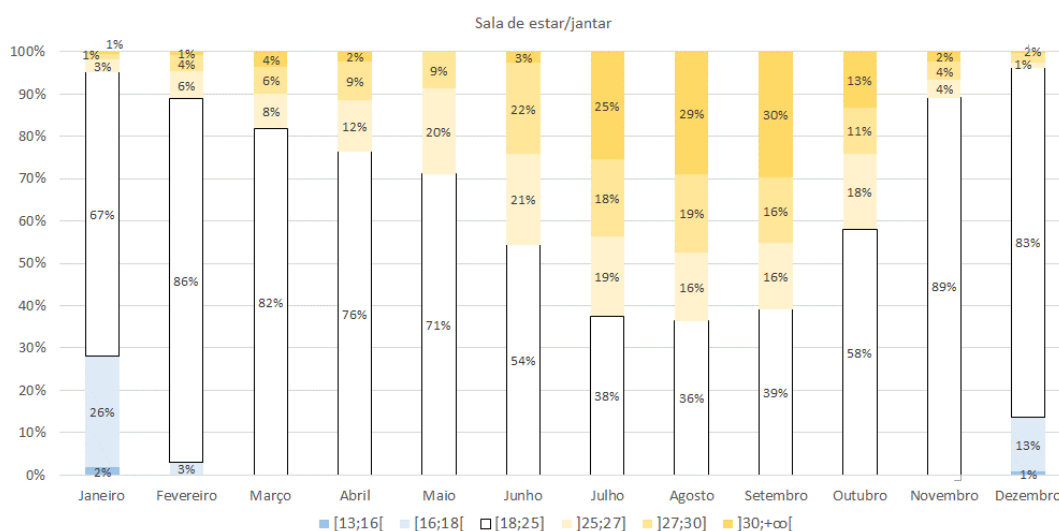


Figura 4.33 – Sala de estar/jantar: percentagem de horas em que a temperatura (°C) no interior do compartimento se situa em diferentes intervalos de temperatura, para todos os meses do ano

Da observação da Figura 4.33, verificamos que é sobretudo nos meses mais quentes, que se fazem sentir maiores afastamentos face à temperatura máxima de conforto, os 25 °C. Os meses de Junho, Julho, Agosto, Setembro e Outubro, são os meses mais críticos, podendo haver temperaturas superiores a 30 °C. Os meses mais frios, não apresentam diferenças tão acentuadas face à temperatura mínima de conforto; contudo os meses de Janeiro, Fevereiro e Dezembro apresentam temperaturas compreendidas entre os 13 °C e 18 °C. Os meses de Fevereiro, Março, Abril, Maio, Novembro e Dezembro são os que apresentam maior percentagem de horas com temperaturas dentro do intervalo de conforto; contrariamente aos meses de Julho, Agosto e Setembro, onde se verifica menor percentagem de horas com temperaturas dentro do intervalo de conforto.

Torna-se perceptível na Figura 4.33, que os meses de Inverno (Janeiro, Fevereiro, Novembro e Dezembro), apresentam elevadas temperaturas, podendo-se mesmo atingir, temperaturas no interior do compartimento superiores a 30 °C, sendo que como foi referido anteriormente, é uma situação pouco comum no Inverno, podendo ser seguramente explicado, pela inexistência de proteção solar associada a uma área excessiva de vão envidraçado com orientação Sul (5,30 m x 2,80 m), ou até à falta de ventilação do compartimento.

A Figura 4.34 representa, para todo o ano, a percentagem de horas em que a temperatura (°C) no interior do compartimento se situa em diferentes intervalos de temperatura.

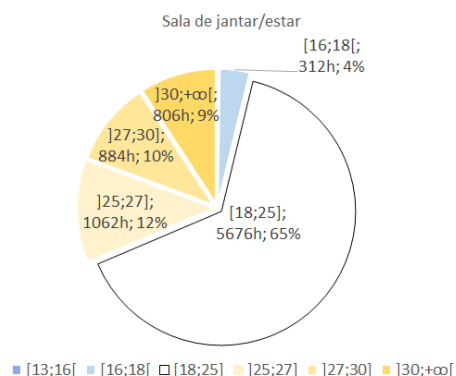


Figura 4.34 – Sala de estar/jantar: percentagem de horas em que a temperatura (°C) no interior do compartimento se situa em diferentes intervalos de temperatura, para todo o ano

Da observação da Figura 4.34, interpretamos que 65% de um total de 8760 horas, apresentam temperaturas dentro do intervalo de conforto (18 °C a 25 °C). Contudo, existem temperaturas fora do intervalo de conforto. Verificamos que 4 % das horas apresentam temperaturas compreendidos entre 16 °C a 18 °C, 12% das horas apresentam temperaturas compreendidas entre 25 °C e 27 °C, 10% das horas apresentam temperaturas compreendidas entre 27 °C e 30 °C, e 9% das horas que apresentam temperaturas superiores a 30 °C. Conclui-se então que 65 % das horas apresentam temperaturas dentro do intervalo de conforto; em contrapartida, 35% das horas apresentam temperaturas fora do intervalo de conforto.

Analisada a variação das temperaturas no interior do compartimento, procede-se à análise dos ganhos e perdas de calor do compartimento através dos diversos elementos constituintes da envolvente opaca e não opaca (vidros, paredes exteriores, tetos, pavimentos, divisórias, cobertura); renovações de ar na edificação (ventilação natural e infiltração); ganhos de calor do compartimento devido à radiação solar que passa através do envidraçado e ganhos internos (equipamentos, ocupação e iluminação). No **Anexo J (J1.1, J1.2, J1.3 e J1.4)**, consta a representação gráfica, para a estação de arrefecimento (Junho, Julho, Agosto e Setembro) e para a estação de aquecimento (Novembro, Dezembro, Janeiro e Fevereiro), do balanço térmico diurno (entre as 7:00 horas e as 19:00 horas) e do balanço térmico noturno (entre as 19:00 horas e as 7:00 horas).

No balanço térmico diurno de Verão, os maiores ganhos de calor no compartimento revelam-se através da radiação solar que atravessa os vãos envidraçados (60 749,0 Wh/m²), evidenciando um valor bastante elevado comparativamente aos restantes ganhos. As maiores perdas de calor no compartimento são devido às paredes exteriores e aos pavimentos térreos, indicando assim que estes elementos estão a armazenar calor durante o dia, para depois restituí-lo ao ambiente durante a noite, como se observa no balanço térmico noturno de Verão, onde estes elementos surgem como ganhos de calor para o compartimento. No balanço térmico noturno de Verão, os maiores ganhos de calor para o compartimento revelam-se através das paredes exteriores, enquanto as maiores perdas de calor no compartimento revelam-se através da ventilação externa (-18 707,0 Wh/m²), valor este que resulta das 4 renovações horárias correspondentes à ventilação noturna estabelecida nos meses de Verão. Contudo, as perdas de calor no compartimento devido aos vidros e infiltração externa apresentam também um valor bastante significativo.

No balanço térmico diurno de Inverno, os maiores ganhos de calor no compartimento revelam-se através da radiação solar que atravessa os vãos envidraçados ($60\,498,4 \text{ Wh/m}^2$), evidenciando um valor bastante elevado comparativamente aos restantes ganhos. Contudo, este valor assemelha-se ao valor dos ganhos através do mesmo elemento, referente ao balanço térmico diurno de Verão, explicando mais uma vez, as altas temperaturas que se fazem sentir no interior do compartimento no Inverno. As maiores perdas de calor referem-se às paredes exteriores indicando assim que estes elementos estão a armazenar calor durante o dia, para depois restituí-lo ao ambiente durante a noite, como se observa no balanço térmico noturno de Inverno. Contudo, os pavimentos térreos, as coberturas e a infiltração externa possuem perdas consideráveis e de valor equiparado. Já no balanço térmico noturno de Inverno, os maiores ganhos de calor para o compartimento revelam-se através dos pavimentos térreos e das paredes exteriores, enquanto as maiores perdas revelam-se através dos vidros e infiltração externa.

A Figura 4.35, refere-se ao compartimento da **cozinha**. Aqui é possível observar que as temperaturas no interior da cozinha oscilam entre os $13,32^\circ\text{C}$ (25 de Janeiro, 07:00 h) a e os $32,13^\circ\text{C}$ (25 de Agosto, 16:00h).

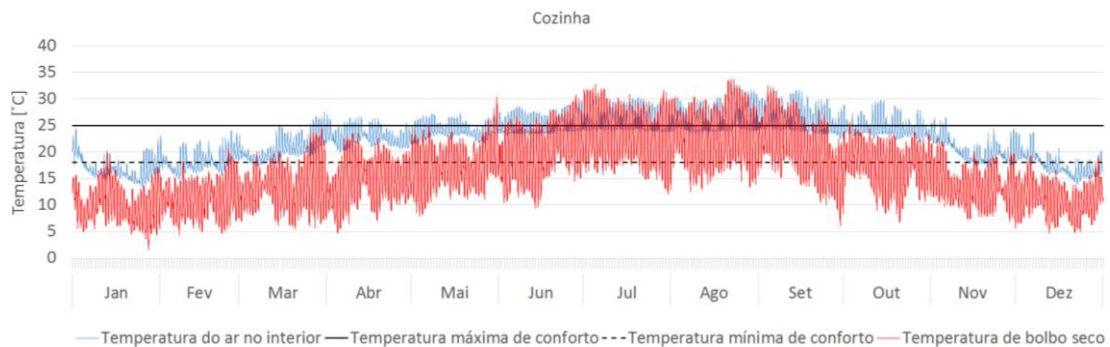


Figura 4.35 – Cozinha: temperatura do ar no interior, temperatura de bolbo seco, temperatura máxima (25°C) e mínima (18°C) de conforto

Pela observação do gráfico representado na Figura 4.36, referente ao dia 23 de Agosto, verificamos que a temperatura do ar no interior se encontra fora do intervalo de conforto, exceto entre as 02:00 h e as 07:00 h. Torna-se perceptível, que entre as 08:00h e as 21:00h a temperatura do ar interior e a temperatura radiante apresentam valores muito próximos, contrariamente às restantes horas, em que se observa maior diferença entre estas. Contudo, a temperatura radiante assume um valor superior à temperatura do ar no interior, excetuando entre 12:00 h e as 21:00h.

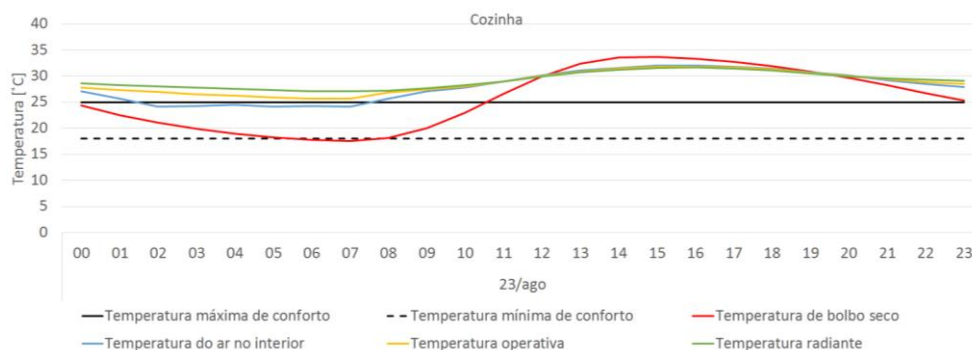


Figura 4.36 – Cozinha: temperatura de bolbo seco, temperatura interior, temperatura radiante, temperatura operativa, temperatura máxima (25°C) e mínima (18°C) de conforto – para o dia 23 de Agosto

Na Figura 4.37, apresenta-se para o dia 23 de Agosto, os intervalos de temperaturas no interior do compartimento para as 24 horas do dia.



Figura 4.37 – Cozinha: Intervalos de temperaturas para as 24 horas do dia - 23 de Agosto

Pela observação da Figura 4.37, interpretamos que, entre as 12:00 h e as 20:00 h, se fazem sentir maiores afastamentos face à temperatura máxima de conforto, chegando mesmo a haver temperaturas superiores a 30°C. Isto poderá explicar-se pelo fato do compartimento apresentar fachada exposta a sul, e sem possuir qualquer elemento de sombreamento, tornando-se alvo da forte radiação solar. Contudo, apenas entre as 02:00 h e as 07:00h é que obtemos temperaturas dentro do intervalo de conforto (18°C a 25°C).

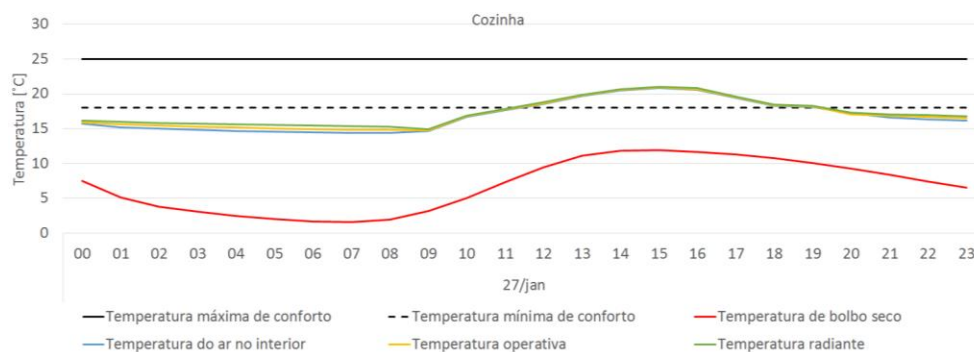


Figura 4.38 - Cozinha: temperatura de bolbo seco, temperatura interior, temperatura radiante, temperatura operativa, temperatura máxima (25°C) e mínima (18°C) de conforto – para o dia 27 de Janeiro

Observando o gráfico representado na Figura 4.38, referente ao dia 27 de Janeiro, verificamos que a temperatura do ar no interior se encontra fora do intervalo de conforto entre as 00:00 h e as 11:00 h, e entre as 20:00 h e as 00:00 h. Torna-se perceptível, ao longo das 24 horas do dia a temperatura do ar interior e a temperatura radiante apresentam valores muito próximos, sobretudo entre as 12:00 h e as 18:00 h. Contudo, observa-se que a temperatura radiante assume um valor sempre superior à temperatura do ar no interior ao longo das 24 horas do dia 27 de Janeiro.

Na Figura 4.39, apresenta-se para o dia 27 de Janeiro, os intervalos de temperaturas no interior do compartimento para as 24 horas do dia.

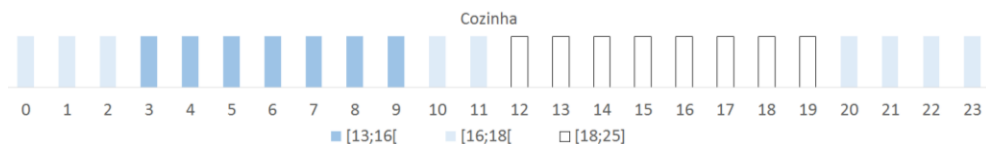


Figura 4.39 – Cozinha: Intervalos de temperaturas para as 24 horas do dia - 27 de Janeiro

Pela observação da Figura 4.39, interpretamos que entre as 12:00 h e as 19:00 h, obtemos temperaturas dentro do intervalo de conforto. Nas restantes horas do dia, obtemos temperatura compreendidas entre 16 °C a 18°C; excetuando entre as 03:00 h e as 09:00 h, onde o afastamento face ao limite mínimo de conforto é mais acentuado, atingindo temperaturas compreendidas entre 13 °C e 16 °C. Aqui,

contrariamente ao que sucede na sala de estar/jantar, relativamente às elevadas temperaturas no Inverno, observamos que na cozinha, para o dia 27 de Janeiro, as temperaturas oscilam entre os 13 °C e 25 °C, sendo isto, uma situação mais comum.

Na Figura 4.40, apresenta-se, para todos os meses do ano, a percentagem de horas em que a temperatura (°C) no interior do compartimento se situa em diferentes intervalos de temperatura.

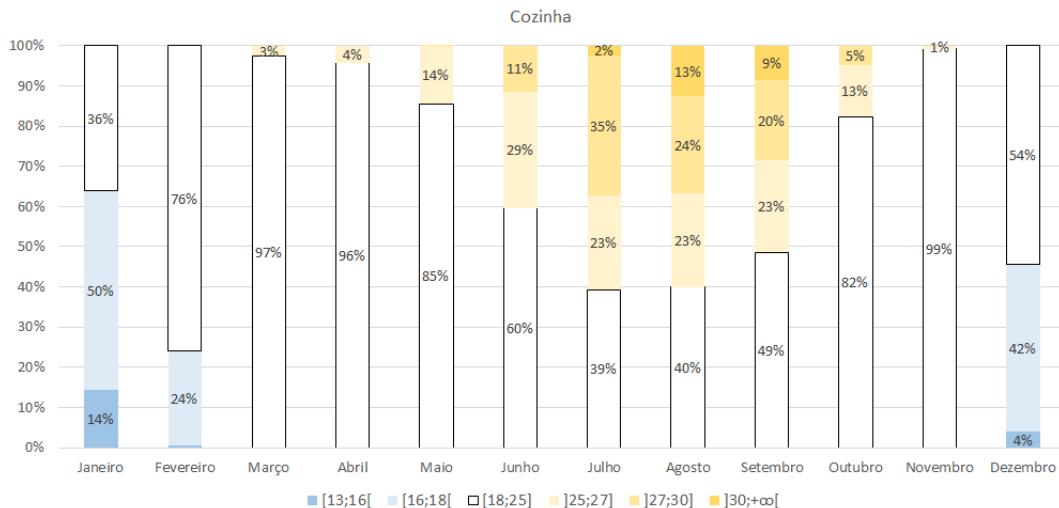


Figura 4.40 – Cozinha: percentagem de horas em que a temperatura (°C) no interior do compartimento se situa em diferentes intervalos de temperatura, para todos os meses do ano

Da observação da Figura 4.40, interpretamos que é sobretudo nos meses mais quentes, que se fazem sentir maiores afastamentos face à temperatura máxima de conforto. Os meses de Julho, Agosto e Setembro, são os meses mais críticos, podendo haver temperaturas superiores a 30 °C. Os meses mais frios, não apresentam diferenças tão acentuadas face à temperatura mínima de conforto; contudo Janeiro, Fevereiro e Dezembro apresentam temperaturas compreendidas entre os 13 °C e 18 °C. Os meses de Fevereiro, Março, Abril, Maio, Outubro e Novembro são os que apresentam maior percentagem de horas com temperaturas dentro do intervalo de conforto; contrariamente aos meses de Janeiro, Julho, Agosto e Setembro, onde se verifica menor percentagem de horas com temperaturas dentro do intervalo de conforto.

A Figura 4.41 representa, para todo o ano, a percentagem de horas em que a temperatura (°C) no interior do compartimento se situa em diferentes intervalos de temperatura.

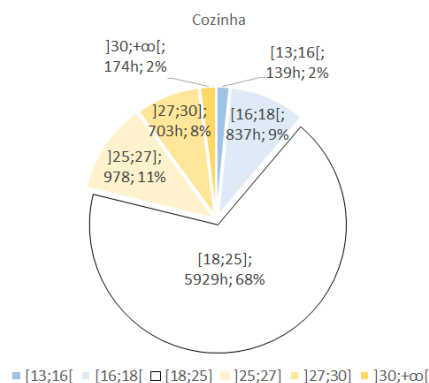


Figura 4.41 – Cozinha: percentagem de horas em que a temperatura (°C) no interior do compartimento se situa em diferentes intervalos de temperatura, para todo o ano

Da observação da Figura 4.41, interpretamos que 68% de um total de 8760 horas, apresentam temperaturas dentro do intervalo de conforto. Contudo, existem temperaturas fora do intervalo de conforto. Verificamos que 2% das horas apresentam temperaturas compreendidas entre 13 °C e 16 °C, 9% das horas apresentam temperaturas compreendidas entre 16 °C e 18 °C, 11% das horas apresentam temperaturas compreendidas entre 25 °C e 27 °C, 8% das horas apresentam temperaturas compreendidas entre 27 °C e 30 °C, e 2% das horas apresentam temperaturas superiores a 30 °C. Conclui-se então que 68 % das horas apresentam temperaturas dentro do intervalo de conforto; em contrapartida, 32% das horas apresentam temperaturas fora do intervalo de conforto.

Analisada a variação das temperaturas no interior do compartimento, procede-se à análise dos ganhos e perdas de calor do compartimento através dos diversos elementos constituintes da envolvente opaca e não opaca (vidros, paredes exteriores, tetos, pavimentos, divisórias, cobertura); renovações de ar na edificação (ventilação natural e infiltração); ganhos de calor do compartimento devido à radiação solar que passa através do envidraçado e ganhos internos (equipamentos, ocupação e iluminação). No **Anexo J (J1.5, J1.6, J1.7 e J1.8)**, consta a representação gráfica, para a estação de arrefecimento (Junho, Julho, Agosto e Setembro) e para a estação de aquecimento (Novembro, Dezembro, Janeiro e Fevereiro), do balanço térmico diurno (entre as 7:00 horas e as 19:00 horas) e do balanço térmico noturno (entre as 19:00 horas e as 7:00 horas).

No balanço térmico diurno de Verão, os maiores ganhos de calor no compartimento revelam-se através da radiação solar que atravessa os vãos envidraçados (70 854,0Wh/m²), evidenciando um valor bastante elevado comparativamente aos restantes ganhos. As maiores perdas de calor no compartimento são devido às paredes interiores, indicando assim que estes elementos estão a armazenar calor durante o dia, para depois restitui-lo ao compartimento durante a noite; como se observa no balanço térmico noturno de Verão, onde estes elementos surgem como ganhos de calor para o compartimento. No balanço térmico noturno de Verão os maiores ganhos de calor no compartimento revelam-se através das paredes interiores e exteriores, enquanto as maiores perdas de calor do compartimento revelam-se através da ventilação externa (-21 075.3 Wh/m²), valor este que resulta das 4 renovações horárias correspondentes à ventilação noturna estabelecida nos meses de Verão. Contudo, as perdas de calor no compartimento devido a infiltração externa e vidros apresentam um valor bastante significativo.

No balanço térmico diurno de Inverno, os maiores ganhos de calor no compartimento revelam-se através da radiação solar que atravessa os vãos envidraçados (45 063.7 Wh/m²), evidenciando um valor bastante elevado comparativamente aos restantes ganhos; sendo que, contrariamente ao que sucede na sala de

estar/jantar, estes ganhos de Inverno em horário diurno são bastante inferiores aos ganhos de Verão em horário diurno, resultando em temperaturas não tão elevadas como sucede na sala de estar/jantar. As maiores perdas de calor no compartimento revelam-se através das paredes interiores e exteriores, indicando assim, que estes elementos estão a armazenar calor durante o dia, para depois restituí-lo durante a noite. Já no balanço térmico noturno de Inverno os maiores ganhos de calor para o compartimento revelam-se através das paredes interiores e pavimentos térreos, enquanto as maiores perdas revelam-se através dos vidros, tendo as perdas devido a infiltração externa um valor bastante significativo.

A Figura 4.42, refere-se ao compartimento do **quarto 1**. Aqui é possível observar que as temperaturas no interior do quarto 1 oscilam entre os 13,96 °C (25 de Janeiro, 07:00 h) a e os 32,66 °C (24 de Agosto, 10:00h).

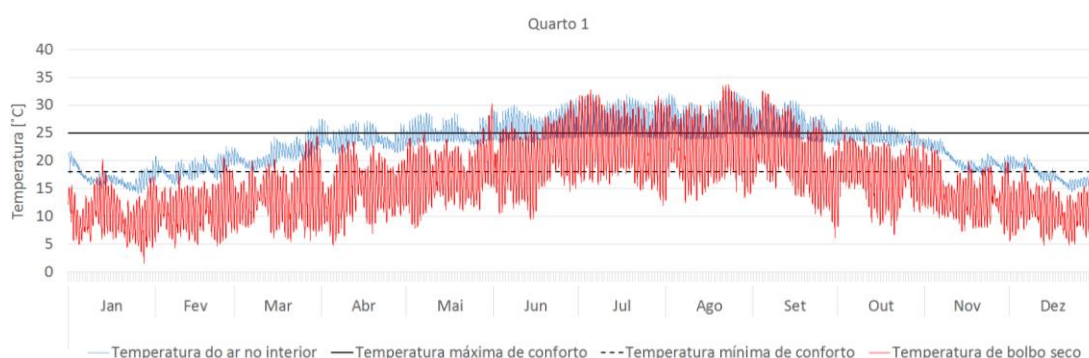


Figura 4.42 – Quarto 1: temperatura do ar no interior, temperatura de bolbo seco, temperatura máxima (25°C) e mínima (18°C) de conforto

Pela observação do gráfico representado na Figura 4.43, referente ao dia 23 de Agosto, constatamos que a temperatura do ar no interior se encontra fora do intervalo de conforto entre as 00:00h e as 02:00h e entre as 07:00h e as 23:00h. Torna-se perceptível, que entre as 08:00h e as 21:00h a temperatura do ar interior e a temperatura radiante apresentam valores muito próximos, contrariamente às restantes horas, em que se observa maior diferença entre estas. Contudo, a temperatura radiante assume um valor superior à temperatura do ar no interior, excetuando entre 21:00 h e as 24:00h, e entre as 00:00h e as 10:00h.

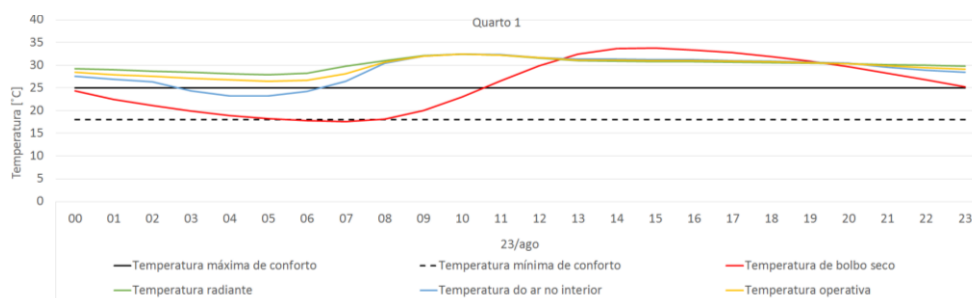


Figura 4.43 – Quarto 1: temperatura de bolbo seco, temperatura interior, temperatura radiante, temperatura operativa, temperatura máxima (25°C) e mínima (18°C) de conforto – para o dia 23 de Agosto

Na Figura 4.44, apresenta-se para o dia 23 de Agosto, os intervalos de temperaturas no interior do compartimento para as 24 horas do dia.



Figura 4.44 – Quarto 1: Intervalos de temperaturas para as 24 horas do dia - 23 de Agosto

Pela observação da Figura 4.44, interpretamos que entre as 8:00 h e as 20:00 h, se fazem sentir maiores afastamentos face à temperatura máxima de conforto, chegando mesmo a haver diferenças superiores a 30°C. Contudo, existem diferenças menos acentuadas face ao limite máximo de conforto, verificamos que entre as 21:00 h e as 23:00 h existem temperaturas compreendidas entre 27 °C e 30 °C; sendo que às 07:00 h, e entre as 00:00 h e as 02:00 h, existem temperaturas compreendidas entre 25 °C e 27 °C. Porém, entre as 03:00 h e as 06:00h, verificam-se temperaturas dentro do intervalo de conforto. Todavia, neste compartimento, é de notar que, contrariamente ao que sucede com os compartimentos da sala de estar/jantar (com vão envidraçado a Sul) e cozinha (com vãos envidraçados a Sul e a Oeste), este compartimento apresenta desde o início da manhã (08:00h) temperaturas no seu interior superiores a 30 °C, estando isto associado à orientação do vão envidraçado (Este).

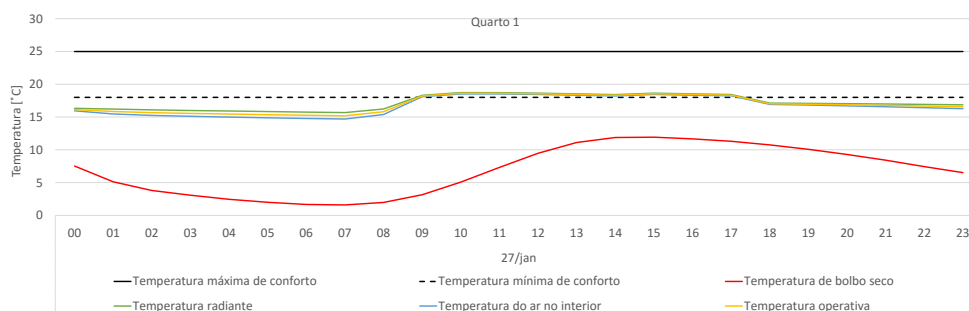


Figura 4.45 - Quarto 1: temperatura de bolbo seco, temperatura interior, temperatura radiante, temperatura operativa, temperatura máxima (25°C) e mínima (18°C) de conforto – para o dia 27 de Janeiro

Observando o gráfico representado na Figura 4.45, referente ao dia 27 de Janeiro, constatamos que a temperatura do ar no interior se encontra fora do intervalo de conforto entre as 10:00 h e as 08:00 h, e entre as 18:00h e as 23:00h. Torna-se perceptível, ao longo das 24 horas do dia a temperatura do ar interior e a temperatura radiante apresentam valores muito próximos. Contudo, observa-se que a temperatura radiante assume um valor sempre superior à temperatura do ar no interior.

Na Figura 4.46, apresenta-se para o dia 27 de Janeiro, os intervalos de temperaturas no interior do compartimento para as 24 horas do dia.



Figura 4.46 – Quarto 1: Intervalos de temperaturas para as 24 horas do dia - 27 de Janeiro

Pela observação da Figura 4.46, interpretamos que entre as 9:00 h e as 17:00 h, obtemos temperaturas dentro do intervalo de conforto. Nas restantes horas, obtemos diferenças de temperatura compreendidas entre 16 °C e 18 °C, expeto entre as 05:00 h e as 07:00 h, onde o afastamento face ao limite mínimo de conforto é mais acentuado, obtendo temperaturas compreendidas entre 13 °C e 16 °C .

Na figura 4.47, apresenta-se, para todos os meses do ano, a percentagem de horas em que a temperatura ($^{\circ}\text{C}$) no interior do compartimento se situa em diferentes intervalos de temperatura.

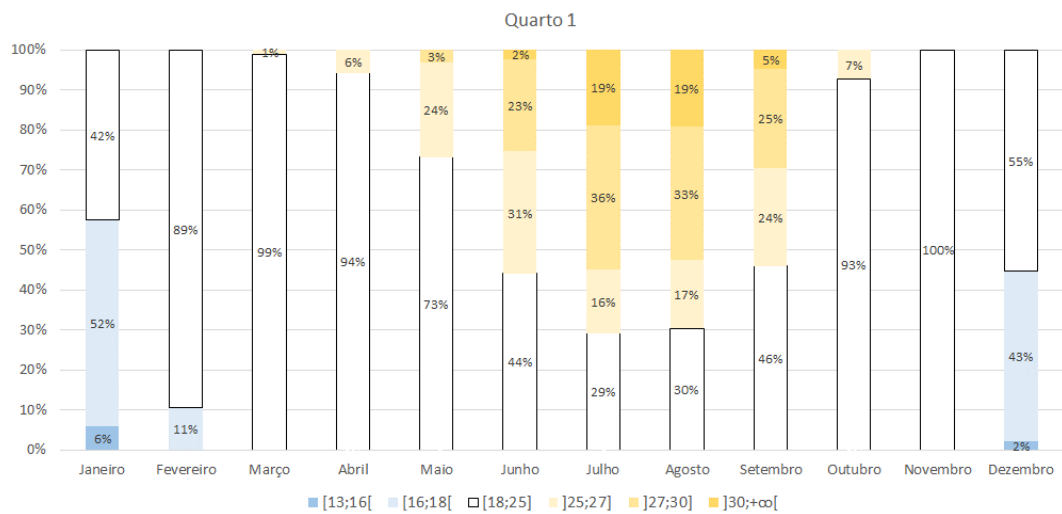


Figura 4.47 – Quarto 1: percentagem de horas em que a temperatura ($^{\circ}\text{C}$) no interior do compartimento se situa em diferentes intervalos de temperatura, para todos os meses do ano

Da observação da Figura 4.47, interpretamos que é sobretudo nos meses mais quentes, que se fazem sentir maiores afastamentos face às temperaturas de conforto. Os meses de Junho, Julho, Agosto e Setembro, são os meses mais críticos, podendo haver temperaturas superiores a 30°C . Os meses mais frios, não apresentam diferenças tão acentuadas face à temperatura mínima de conforto; contudo Janeiro, Fevereiro e Dezembro apresentam temperaturas compreendidas entre os 13°C e 18°C . Os meses de Fevereiro, Março, Abril, Maio, Outubro e Novembro são os que apresentam maior percentagem de horas com temperaturas dentro do intervalo de conforto; contrariamente aos meses de Janeiro, Junho, Julho, Agosto e Setembro, onde se verifica menor percentagem de horas com temperaturas dentro do intervalo de conforto.

A Figura 4.48 representa, para todo o ano, a percentagem de horas em que a temperatura ($^{\circ}\text{C}$) no interior do compartimento se situa em diferentes intervalos de temperatura.

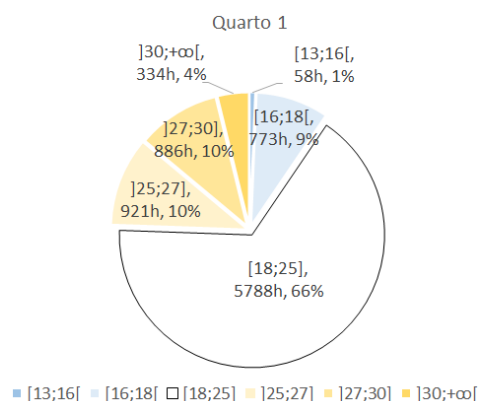


Figura 4.48 – Quarto 1: percentagem de horas em que a temperatura ($^{\circ}\text{C}$) no interior do compartimento se situa em diferentes intervalos de temperatura, para todo o ano

Da observação da Figura 4.48, interpretamos que 66% de um total de 8760 horas, apresentam temperaturas dentro do intervalo de conforto. Contudo, existem temperaturas fora do intervalo de conforto. Verificamos que 9% das horas apresentam temperaturas compreendidas entre 16 °C e 18 °C, 1% das horas apresentam temperaturas compreendidas entre 13 °C e 16 °C, 10% das horas apresentam temperaturas compreendidas entre 25 °C e 27 °C, 10% das horas apresentam temperaturas compreendidas entre 27 °C e 30 °C, e 4% das horas apresentam temperaturas superiores a 30 °C. Conclui-se então que 66 % das horas apresentam temperaturas dentro do intervalo de conforto; em contrapartida, 34% das horas apresentam temperaturas fora do intervalo de conforto.

Analisada a variação das temperaturas no interior do compartimento, procede-se à análise dos ganhos e perdas de calor do compartimento através dos diversos elementos constituintes da envolvente opaca e não opaca (vidros, paredes exteriores, tetos, pavimentos, divisórias, cobertura); renovações de ar na edificação (ventilação natural e infiltração); ganhos de calor devido à radiação solar que passa através do envidraçado e ganhos internos (equipamentos, ocupação e iluminação). No **Anexo J (J1.9, J1.10, J1.11 e J1.12)**, consta a representação gráfica, para a estação de arrefecimento (Junho, Julho, Agosto e Setembro) e para a estação de aquecimento (Novembro, Dezembro, Janeiro e Fevereiro), do balanço térmico diurno (entre as 7:00 horas e as 19:00 horas) e do balanço térmico noturno (entre as 19:00 horas e as 7:00 horas).

No balanço térmico diurno de Verão, os maiores ganhos de calor no compartimento revelam-se através da radiação solar que atravessa os vãos envidraçados (66 745,2Wh/m²), evidenciando um valor bastante elevado comparativamente aos restantes ganhos. As maiores perdas de calor no compartimento são devido às paredes interiores e aos pavimentos térreos, indicando assim que estes elementos estão a armazenar calor durante o dia, para depois restitui-lo ao compartimento durante a noite; como se observa no balanço térmico noturno de Verão, onde estes elementos surgem como ganhos de calor para o compartimento. No balanço térmico noturno de Verão os maiores ganhos de calor no compartimento revelam-se através das paredes interiores, enquanto as maiores perdas de calor do compartimento revelam-se através da ventilação externa (-26 747,1 Wh/m²), valor este que resulta das 4 renovações horárias correspondentes à ventilação noturna estabelecida nos meses de Verão. Contudo, as perdas de calor no compartimento devido a infiltração externa e vidros apresentam um valor significativo.

No balanço térmico diurno de Inverno, os maiores ganhos de calor no compartimento revelam-se através da radiação solar que atravessa os vãos envidraçados (23 723,0 Wh/m²), evidenciando um valor bastante elevado comparativamente aos restantes ganhos. As maiores perdas de calor no compartimento revelam-se através da infiltração externa. Já no balanço térmico noturno de Inverno os maiores ganhos de calor para o compartimento revelam-se através das paredes interiores, enquanto as maiores perdas revelam-se através da infiltração externa. Contudo, as perdas de calor no compartimento devido aos vidros apresentam um valor bastante significativo.

A Figura 4.49, refere-se ao compartimento da **instalação sanitária (quarto 1)**. Aqui é possível observar que as temperaturas no interior da instalação sanitária (quarto 1) oscilam entre os 14,54 °C (25 de Janeiro, 07:00 h) a e os 28,79 °C (24 de Agosto, 19:00h). A instalação sanitária do quarto 1, não possui nenhum vão envidraçado, revelando deste modo, se observarmos o gráfico da figura 4.49, menos oscilações diárias de temperaturas.

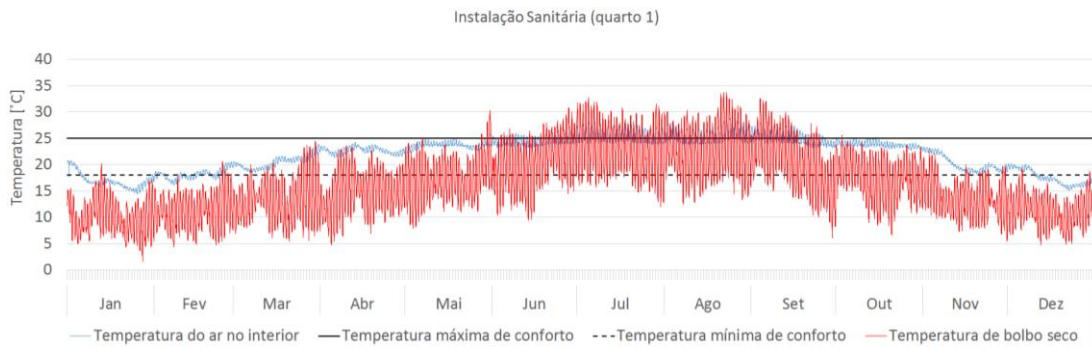


Figura 4.49 – Instalação Sanitária (Quarto 1): temperatura do ar no interior, temperatura de bolbo seco, temperatura máxima (25°C) e mínima (18°C) de conforto

Pela observação do gráfico representado na Figura 4.50, referente ao dia 23 de Agosto, constatamos que a temperatura do ar no interior se encontra fora do intervalo de conforto, exceto entre as 02:00 h e as 07:00 h. Torna-se perceptível, que entre as 08:00h e as 22:00h a temperatura do ar interior e a temperatura radiante apresentam valores muito próximos, contrariamente às restantes horas, em que se observa maior diferença entre estas. Contudo, a temperatura radiante assume um valor superior à temperatura do ar no interior, excetuando entre 11:00 h e as 21:00h. Torna-se perceptível, que para o dia 23 de Agosto, contrariamente ao que sucede nos compartimentos da sala de estar/jantar e cozinha, a oscilação das temperaturas no interior da instalação sanitária é menos acentuada, podendo isto ser explicado, pelo fato de este compartimento não possuir qualquer vão envidraçado, não estando deste modo sujeito à radiação solar.

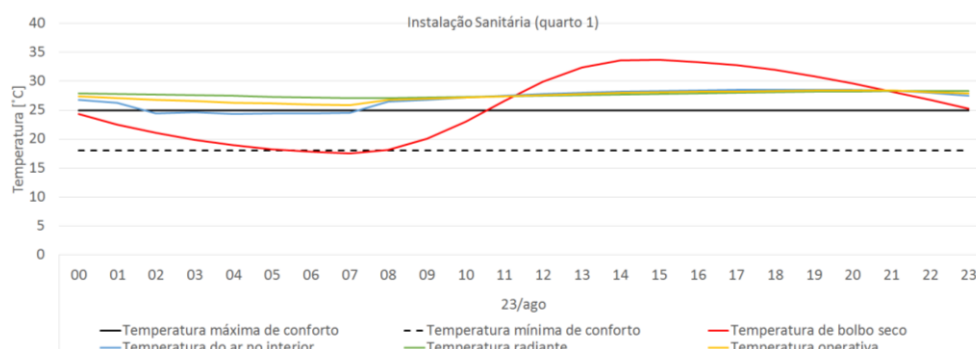


Figura 4.50 – Instalação Sanitária (Quarto 1): temperatura de bolbo seco, temperatura interior, temperatura radiante, temperatura operativa, temperatura máxima (25°C) e mínima (18°C) de conforto – para o dia 23 de Agosto

Na Figura 4.51, apresenta-se para o dia 23 de Agosto, os intervalos de temperaturas no interior do compartimento para as 24 horas do dia.



Figura 4.51 – Instalação Sanitária (Quarto 1): Intervalos de temperaturas para as 24 horas do dia - 23 de Agosto

Pela observação da Figura 4.51, verifica-se que, entre as 13:00 h e as 22:00 h, se fazem sentir maiores afastamentos face à temperatura máxima de conforto, havendo temperaturas compreendidas entre 27 °C e 30 °C. Contudo existem diferenças menores relativas à temperatura máxima de conforto, nomeadamente entre as 00:00 h e as 01:00 h, entre as 08:00 h e as 12:00 h, e entre as 23:00 h e as 00:00 h, apresentando temperaturas compreendidas entre 25 °C e 27 °C. Contudo, entre 02:00 h e as 07:00h obtemos temperaturas dentro do intervalo de conforto. Todavia, pela observação deste gráfico da figura 4.51, verificamos que as temperaturas no interior da instalação sanitária, não ultrapassam os 30 °C, sendo que, como já foi referido anteriormente, isto poderá ser explicado pelo fato de este compartimento não possuir qualquer vão envidraçado, não estando deste modo sujeito à radiação solar.

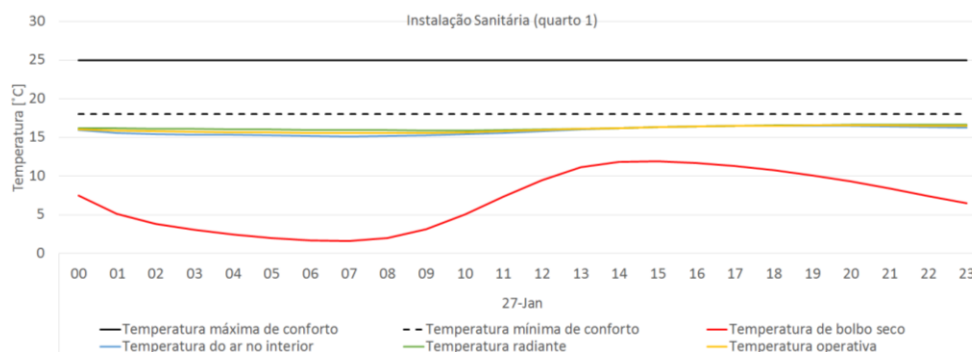


Figura 4.52 - Instalação Sanitária (Quarto 1): temperatura de bolbo seco, temperatura interior, temperatura radiante, temperatura operativa, temperatura máxima (25 °C) e mínima (18 °C) de conforto – para o dia 27 de Janeiro

Observando o gráfico representado na Figura 4.52, referente ao dia 27 de Janeiro, constatamos que a temperatura do ar no interior se encontra fora do intervalo de conforto, nas 24 horas do dia. Torna-se perceptível, ao longo das 24 horas do dia a temperatura do ar interior e a temperatura radiante apresentam valores muito próximos. Contudo, observa-se que a temperatura radiante assume um valor sempre superior à temperatura do ar no interior, excetuando entre as 15:00 h e as 16:00 h.

Na Figura 4.53, apresenta-se para o dia 27 de Janeiro, os intervalos de temperaturas no interior do compartimento para as 24 horas do dia.



Figura 4.53 – Instalação Sanitária (Quarto 1): Intervalos de temperaturas para as 24 horas do dia - 27 de Janeiro

Pela observação da Figura 4.53, verifica-se que ao longo das 24 horas do dia 27 de Janeiro, se fazem sentir afastamentos face à temperatura mínima de conforto, apresentando temperaturas compreendidas entre 16 °C e 18 °C.

Na Figura 4.54, apresenta-se, para todos os meses do ano, a percentagem de horas em que a temperatura (°C) no interior do compartimento se situa em diferentes intervalos de temperatura.

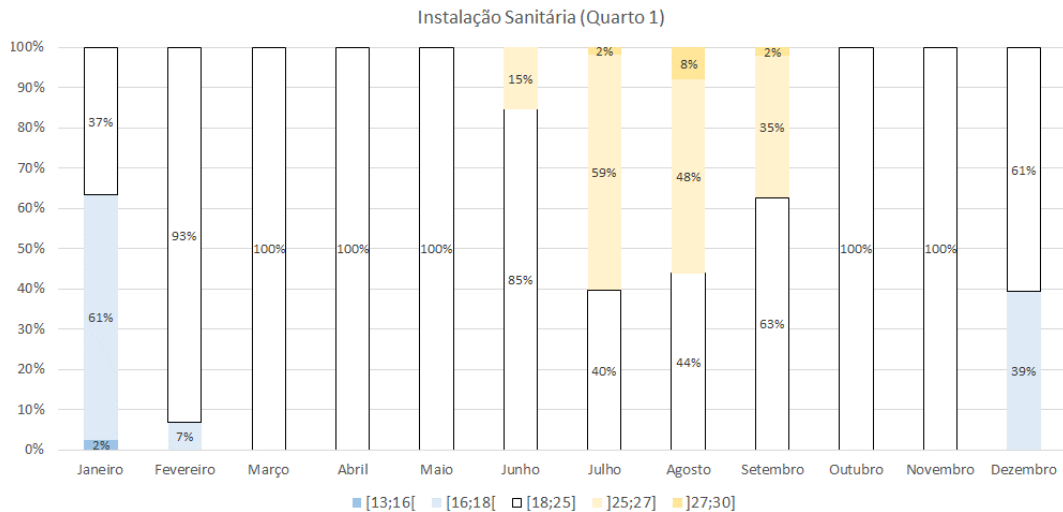


Figura 4.54 – Instalação Sanitária (Quarto 1): percentagem de horas em que a temperatura ($^{\circ}\text{C}$) no interior do compartimento se situa em diferentes intervalos de temperatura, para todos os meses do ano

Da observação da Figura 4.54, interpretamos que é sobretudo nos meses mais quentes, que se fazem sentir maiores afastamentos face à temperatura máxima de conforto. Os meses de Julho, Agosto e Setembro, são os meses mais críticos, podendo haver temperaturas compreendidas entre 27°C e 30°C . Os meses mais frios, também apresentam afastamentos face à temperatura mínima de conforto; contudo Janeiro, Fevereiro e Dezembro apresentam temperaturas compreendidas entre 13°C e 18°C . Os meses de Fevereiro, Março, Abril, Maio, Junho, Outubro e Novembro são os que apresentam maior percentagem de horas com temperaturas dentro do intervalo de conforto; contrariamente aos meses de Janeiro, Julho e Agosto, onde se verifica menor percentagem de horas com temperaturas dentro do intervalo de conforto.

A Figura 4.55 representa, para todo o ano, a percentagem de horas em que a temperatura ($^{\circ}\text{C}$) no interior do compartimento se situa em diferentes intervalos de temperatura.

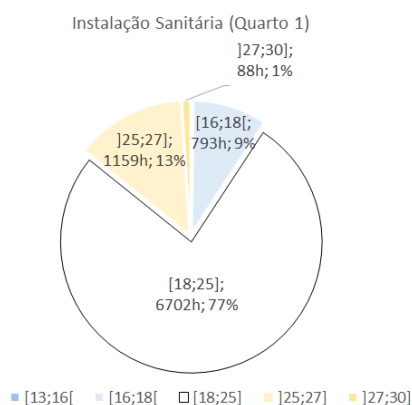


Figura 4.55 – Instalação Sanitária (Quarto 1): percentagem de horas em que a temperatura ($^{\circ}\text{C}$) no interior do compartimento se situa em diferentes intervalos de temperatura, para todo o ano

Da observação da Figura 4.55, interpretamos que 77% de um total de 8760 horas apresentam temperaturas dentro do intervalo de conforto. Contudo, existem temperaturas fora do intervalo de conforto. Verificamos que 9% das horas apresentam temperaturas compreendidas entre 16°C e 18°C , 13% das horas apresentam temperaturas compreendidas entre 25°C e 27°C , e 1% das horas apresentam

temperaturas compreendidas entre 27 °C e 30 °C. Conclui-se então que 77 % das horas apresentam temperaturas dentro do intervalo de conforto; em contrapartida, 23% das horas apresentam temperaturas fora do intervalo de conforto.

Analisada a variação das temperaturas no interior do compartimento, procede-se à análise dos ganhos e perdas de calor do compartimento através dos diversos elementos constituintes da envolvente opaca e não opaca (vidros, paredes exteriores, tetos, pavimentos, divisórias, cobertura); renovações de ar na edificação (ventilação natural e infiltração); ganhos de calor devido à radiação solar que passa através do envidraçado e ganhos internos (equipamentos, ocupação e iluminação). No **Anexo J (J1.13, J1.14, J1.15 e J1.16)**, consta a representação gráfica, para a estação de arrefecimento (Junho, Julho, Agosto e Setembro) e para a estação de aquecimento (Novembro, Dezembro, Janeiro e Fevereiro), do balanço térmico diurno (entre as 7:00 horas e as 19:00 horas) e do balanço térmico noturno (entre as 19:00 horas e as 7:00 horas).

No balanço térmico diurno de Verão, os maiores ganhos de calor no compartimento revelam-se através das paredes interiores (8 555,9 Wh/m²). As maiores perdas de calor no compartimento são devido aos pavimentos térreos (-5 456,4 Wh/m²), tendo a infiltração e ventilação externa valores consideráveis. No balanço térmico noturno de Verão os maiores ganhos de calor no compartimento revelam-se através das paredes interiores, enquanto as maiores perdas de calor no compartimento revelam-se através da ventilação externa.

No balanço térmico diurno de Inverno, os maiores ganhos de calor no compartimento revelam-se através das paredes interiores (5 127,9 Wh/m²), enquanto as maiores perdas de calor no compartimento são devido à infiltração externa (-6 698,7 Wh/m²). Já no balanço térmico noturno de Inverno, os maiores ganhos de calor no compartimento revelam-se através das paredes interiores, enquanto as maiores perdas de calor do compartimento revelam-se através da infiltração externa.

A Figura 4.56, refere-se ao compartimento da **Instalação Sanitária (zona de entrada)**. Aqui é possível observar que as temperaturas no interior da Instalação Sanitária (zona de entrada) oscilam entre os 13,33 °C (26 de Janeiro, 07:00 h) a e os 29,15 °C (25 de Agosto, 14:00 h e 15:00 h).

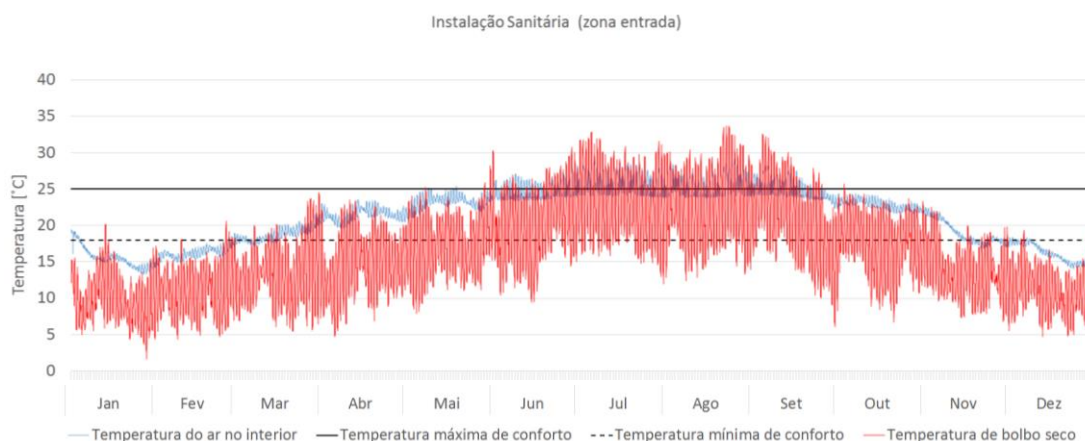


Figura 4.56 – Instalação Sanitária (zona de entrada): temperatura do ar no interior, temperatura de bolbo seco, temperatura máxima (25°C) e mínima (18°C) de conforto

Pela observação do gráfico representado na Figura 4.57, referente ao dia 23 de Agosto, constatamos que a temperatura do ar no interior se encontra fora do intervalo de conforto, exceto entre as 01:00 h e as

07:00 h. Torna-se perceptível, que entre as 08:00h e as 22:00h a temperatura do ar interior e a temperatura radiante apresentam valores muito próximos, contrariamente às restantes horas, em que se observa maior diferença entre estas. Contudo, a temperatura radiante assume um valor superior à temperatura do ar no interior, excetuando entre 11:00 h e as 21:00h.

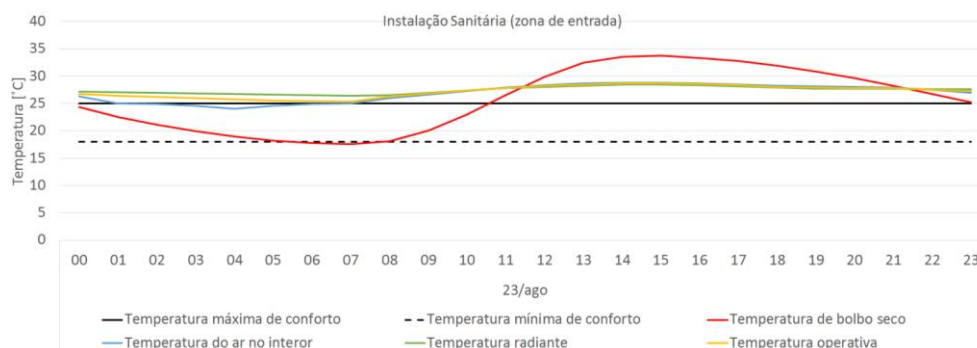


Figura 4.57 – Instalação Sanitária (zona de entrada): temperatura de bolbo seco, temperatura interior, temperatura radiante, temperatura operativa, temperatura máxima (25°C) e mínima (18°C) de conforto – para o dia 23 de Agosto

Na Figura 4.58, apresenta-se para o dia 23 de Agosto, os intervalos de temperaturas no interior do compartimento para as 24 horas do dia.



Figura 4.58 – Instalação Sanitária (zona de entrada): Intervalos de temperaturas para as 24 horas do dia - 23 de Agosto

Pela observação da Figura 4.58, verifica-se que, entre as 11:00 h e as 20:00 h, se fazem sentir maiores afastamentos relativamente à temperatura máxima de conforto, chegando mesmo a haver temperaturas compreendidas entre 27°C e 30°C. Contudo existem diferenças menores relativas à temperatura máxima de conforto, nomeadamente entre as 21:00 h e as 00:00 h, e entre as 08:00 h e as 10:00 h, onde existem temperaturas compreendidas entre 25°C e 27°C. No entanto, entre as 01:00 h e as 07:00 h, obtemos temperaturas dentro do intervalo de conforto.

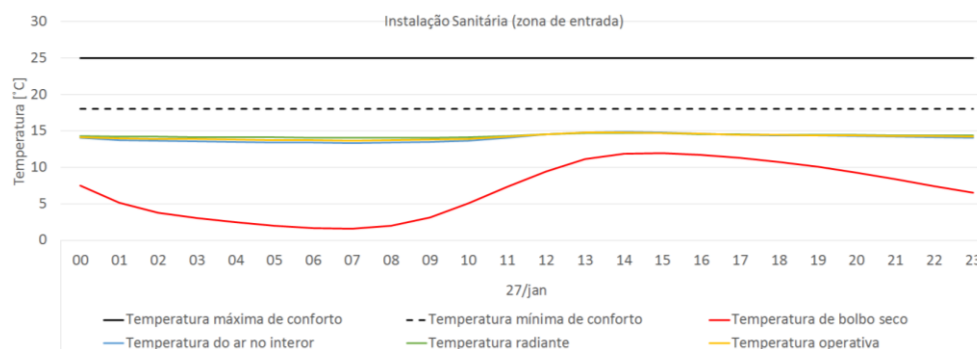


Figura 4.59 - Instalação Sanitária (zona de entrada): temperatura de bolbo seco, temperatura interior, temperatura radiante, temperatura operativa, temperatura máxima (25°C) e mínima (18°C) de conforto – para o dia 27 de Janeiro

Observando o gráfico representado na Figura 4.59, referente ao dia 27 de Janeiro, constatamos que a temperatura do ar no interior se encontra fora do intervalo de conforto, as 24 horas do dia. Torna-se perceptível, ao longo das 24 horas do dia a temperatura do ar interior e a temperatura radiante apresentam valores muito próximos. Contudo, observa-se que a temperatura radiante assume um valor sempre superior à temperatura do ar no interior, excetuando entre as 13:00 h e as 16:00 h.

Na Figura 4.60, apresenta-se para o dia 27 de Janeiro, os intervalos de temperaturas no interior do compartimento para as 24 horas do dia.



Figura 4.60 – Instalação Sanitária (zona de entrada): Intervalos de temperaturas para as 24 horas do dia - 27 de Janeiro

Pela observação da Figura 4.60, verifica-se que ao longo das 24 horas do dia 27 de Janeiro, se fazem sentir afastamentos face à temperatura mínima de conforto, apresentando temperaturas compreendidas entre 13 °C e 16 °C.

Na Figura 4.61, apresenta-se, para todos os meses do ano, a percentagem de horas em que a temperatura (°C) no interior do compartimento se situa em diferentes intervalos de temperatura.

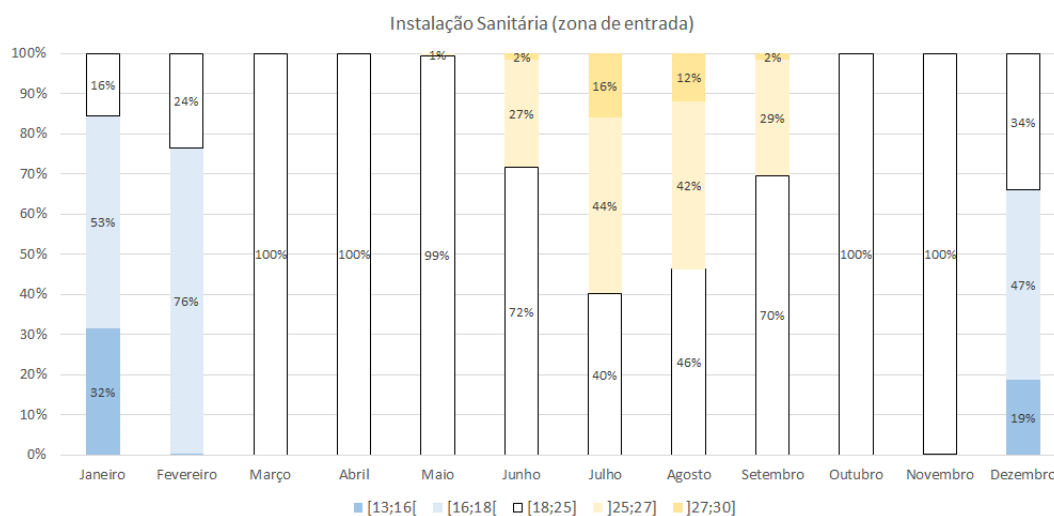


Figura 4.61 – Instalação Sanitária (zona de entrada): percentagem de horas em que a temperatura (°C) no interior do compartimento se situa em diferentes intervalos de temperatura, para todos os meses do ano

Da observação da Figura 4.61, verifica-se que é sobretudo nos meses mais quentes, que se fazem sentir maiores afastamentos face à temperatura máxima de conforto. Os meses de Junho, Julho, Agosto e Setembro, são os meses mais críticos, podendo haver temperaturas compreendidas entre 27°C e 30°C. Os meses mais frios, também apresentam afastamentos face à temperatura mínima de conforto; contudo Janeiro, Fevereiro e Dezembro apresentam temperaturas compreendidas entre 13°C e 18 °C. Os meses de Março, Abril, Maio, Junho, Setembro, Outubro e Novembro são os que apresentam maior percentagem de horas com temperaturas dentro do intervalo de conforto; contrariamente aos meses de

Janeiro, Fevereiro, Julho, Agosto, Setembro e Dezembro, onde se verifica menor percentagem de horas com temperaturas dentro do intervalo de conforto.

A instalação sanitária da zona de entrada apresenta uma claraboia; contudo sabemos que as claraboias são, por vezes, os coletores solares menos eficazes, dado o seu posicionamento horizontal. Estas recebem menor radiação solar durante o Inverno, quando “o Sol está baixo” e as necessidades de aquecimento são maiores, enquanto que, no Verão, quando o aquecimento solar deve ser evitado, recebem a radiação solar máxima. Posto isto, verificamos na realidade, que no Inverno, este compartimento apresenta temperaturas bastante reduzidas compreendidas entre 13 °C e 25 °C; contudo no Verão, esta apresenta temperaturas compreendidas entre 18 °C e 30 °C.

A Figura 4.62 representa, para todo o ano, a percentagem de horas em que a temperatura (°C) no interior do compartimento se situa em diferentes intervalos de temperatura.

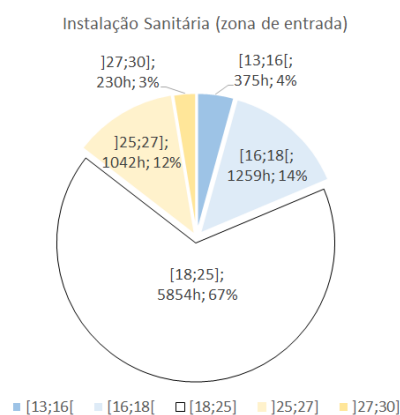


Figura 4.62 – Instalação Sanitária (zona de entrada): percentagem de horas em que a temperatura (°C) no interior do compartimento se situa em diferentes intervalos de temperatura, para todo o ano

Da observação da Figura 4.62, interpretamos que 67% de um total de 8760 horas, apresentam temperaturas dentro do intervalo de conforto. Contudo, existem temperaturas fora do intervalo de conforto. Verificamos que 14% das horas apresentam temperaturas compreendidas entre 16°C e 18 °C, 4% das horas apresentam temperaturas compreendidas entre 13°C e 16 °C, 12% das horas apresentam temperaturas compreendidas entre 25°C e 27 °C e 3% das horas apresentam temperaturas compreendidas entre 27°C e 30°C. Conclui-se então que 67 % das horas apresentam temperaturas dentro do intervalo de conforto; em contrapartida, 33% das horas apresentam temperaturas fora do intervalo de conforto.

Analisada a variação das temperaturas no interior do compartimento, procede-se à análise dos ganhos e perdas de calor do compartimento através dos diversos elementos constituintes da envolvente opaca e não opaca (vidros, paredes exteriores, tetos, pavimentos, divisórias, cobertura); renovações de ar na edificação (ventilação natural e infiltração); ganhos de calor do compartimento devido à radiação solar que passa através do envidraçado e ganhos internos (equipamentos, ocupação e iluminação). No **Anexo J (J1.17, J1.18, J1.19 e J1.20)**, consta a representação gráfica, para a estação de arrefecimento (Junho, Julho, Agosto e Setembro) e para a estação de aquecimento (Novembro, Dezembro, Janeiro e Fevereiro), do balanço térmico diurno (entre as 7:00 horas e as 19:00 horas) e do balanço térmico noturno (entre as 19:00 horas e as 7:00 horas).

No balanço térmico diurno de Verão, os maiores ganhos de calor no compartimento revelam-se através da radiação solar que atravessa a claraboia (43 796,8 Wh/m²), evidenciando um valor bastante elevado

comparativamente aos restantes ganhos. As maiores perdas de calor no compartimento são devido às paredes interiores e exteriores, indicando assim que estes elementos estão a armazenar calor durante o dia, para depois restituí-lo ao compartimento durante a noite; como se observa no balanço térmico noturno de Verão, onde estes elementos surgem como ganhos de calor para o compartimento. No balanço térmico noturno de Verão os maiores ganhos de calor no compartimento revelam-se através das paredes interiores e exteriores, enquanto as maiores perdas revelam-se através da ventilação externa, tendo as perdas devido a infiltração externa e vidros um valor significativo.

No balanço térmico diurno de Inverno, os maiores ganhos de calor no compartimento revelam-se através da radiação solar que atravessa a claraboia ($11\,629,0\text{ Wh/m}^2$), evidenciando um valor bastante elevado comparativamente aos restantes ganhos. As maiores perdas de calor no compartimento revelam-se através das paredes exteriores. Já no balanço térmico noturno de Inverno os maiores ganhos de calor para o compartimento revelam-se através das paredes interiores ($11\,429,1\text{ Wh/m}^2$), evidenciando um valor bastante elevado comparativamente aos restantes ganhos. As maiores perdas de calor do compartimento revelam-se através da infiltração externa, tendo as paredes exteriores e os vidros, perdas de valor considerável.

Terminada a análise referente a cada um dos compartimentos, procede-se à **análise do edifício na sua globalidade**, no que se refere aos ganhos e perdas de calor do edifício através dos diversos elementos constituintes da envolvente opaca e não opaca (vidros, paredes exteriores, tetos, pavimentos, divisórias, cobertura); renovações de ar na edificação (ventilação natural e infiltração); ganhos de calor do edifício devido à radiação solar que passa através do envidraçado e ganhos internos (equipamentos, ocupação e iluminação). No **Anexo J (J1.21, J1.22, J1.23 e J1.24)**, consta a representação gráfica, para a estação de arrefecimento (Junho, Julho, Agosto e Setembro) e para a estação de aquecimento (Novembro, Dezembro, Janeiro e Fevereiro), do balanço térmico diurno (entre as 7:00 horas e as 19:00 horas) e do balanço térmico noturno (entre as 19:00 horas e as 7:00 horas).

No balanço térmico diurno de Verão, os maiores ganhos de calor revelam-se através da radiação solar que atravessa os vãos envidraçados ($41\,679,9\text{ Wh/m}^2$), evidenciando um valor bastante elevado comparativamente aos restantes ganhos. Convém aqui fazer referencia ao fato que os valores obtidos para a análise do edifício na sua globalidade são apresentados em Wh/m^2 , ou seja, o software considera Wh/m^2 de todo o pavimento do edifício, enquanto que os valores obtidos relativos à análise de cada compartimento referem-se a m^2 do pavimento do compartimento em questão. Assim, é por este motivo que se compararmos os valores da radiação solar que atravessa os vãos envidraçados relativos ao edifício na sua globalidade com os valores obtidos relativos a cada um dos compartimentos, notamos que os valores obtidos relativos à globalidade do edifício são, em alguns casos inferiores. As maiores perdas de calor do edifício revelam-se através das paredes interiores, exteriores e pavimentos térreos, indicando assim que estes elementos estão a armazenar calor durante o dia, para depois restituí-lo aos compartimentos durante a noite; como se observa no balanço térmico noturno de Verão, onde estes elementos surgem como ganhos de calor. No balanço térmico noturno de Verão os maiores ganhos de calor do edifício revelam-se através das paredes interiores e exteriores, enquanto as maiores perdas revelam-se através da ventilação externa, tendo as perdas através da infiltração externa e vidros um valor bastante significativo.

No balanço térmico diurno de Inverno, os maiores ganhos de calor do edifício revelam-se através da radiação solar que atravessa os vãos envidraçados ($26\,690,0\text{ Wh/m}^2$), evidenciando um valor bastante elevado comparativamente aos restantes ganhos. As maiores perdas de calor do edifício revelam-se através das paredes exteriores, tendo as perdas através da infiltração externa, das coberturas, as paredes

interiores e dos pavimentos térreos, valores equiparados. Já no balanço térmico noturno de Inverno os maiores ganhos de calor do edifício revelam-se através das paredes interiores e pavimentos térreos, enquanto as maiores perdas revelam-se através da infiltração externa, tendo as perdas através dos vidros valor bastante significativo.

No **Anexo J (J1.25, J1.26)** apresentam-se os resultados do balanço térmico anual do edifício, em horário diurno (das 7:00 horas às 19:00 horas) e horário noturno (das 19:00 horas às 7:00 horas). No balanço térmico diurno de Verão, os maiores ganhos de calor do edifício revelam-se através da radiação solar que atravessa os vãos envidraçados ($106\,565.6\text{ Wh/m}^2$), evidenciando um valor bastante elevado comparativamente aos restantes ganhos. As maiores perdas de calor do edifício revelam-se através das paredes interiores, tendo as perdas através das paredes exteriores, dos pavimentos térreos e da infiltração externa, um valor equiparado. Já no balanço térmico noturno os maiores ganhos de calor do edifício revelam-se através das paredes interiores, enquanto as maiores perdas revelam-se através da infiltração externa, tendo as perdas através da ventilação externa e vidros um valor bastante significativo.

4.3.1.2.SIMULAÇÃO 1.2 – EDIFÍCIO REAL COM SISTEMAS ATIVOS (AQUECIMENTO & ARREFECIMENTO)

A presente simulação visa mostrar o edifício real com recurso a sistemas ativos, utilizando para aquecimento o gás natural, e para arrefecimento a eletricidade. O que se pretende com a presente simulação é obter as necessidades energéticas da climatização inerente às condições térmicas definidas. Nesta simulação, foram obtidos resultados a nível global do edifício, referentes ao balanço térmico diurno (das 7:00 horas às 19:00 horas) e noturno (das 19:00 horas às 7:00 horas), para estação de aquecimento (Janeiro, Fevereiro, Novembro e Dezembro), arrefecimento (Junho, Julho, Agosto e Setembro) e anual (Janeiro a Dezembro); obtendo os ganhos e perdas de calor do edifício através dos elementos constituintes da envolvente exterior (vidros, paredes, tetos, pavimentos, divisórias, cobertura, infiltração externa); renovações de ar na edificação (ventilação natural e infiltração); ganhos de calor do edifício devido à radiação solar que passa através do envidraçado e ganhos internos (equipamentos, ocupação e iluminação).

As Figuras 4.63 e 4.64 representam graficamente, para a estação de arrefecimento (Junho, Julho, Agosto e Setembro), o balanço térmico diurno (entre as 7:00 horas e as 19:00 horas) e o balanço térmico noturno (entre as 19:00 horas e as 7:00 horas). Como é possível observar na Figura 4.63, no balanço térmico diurno, os maiores ganhos de calor revelam-se através da radiação solar que atravessa os vãos envidraçados ($41\,679.9\text{ Wh/m}^2$), evidenciando um valor bastante elevado comparativamente aos restantes ganhos. As maiores perdas de calor revelam-se através dos pavimentos térreos e paredes interiores. Relativamente às necessidades energéticas para obtermos conforto no interior ($18\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $25\text{ }^{\circ}\text{C}$), durante o horário diurno de Verão seria necessário $14\,454.2\text{ Wh/m}^2$ de energia para arrefecimento.

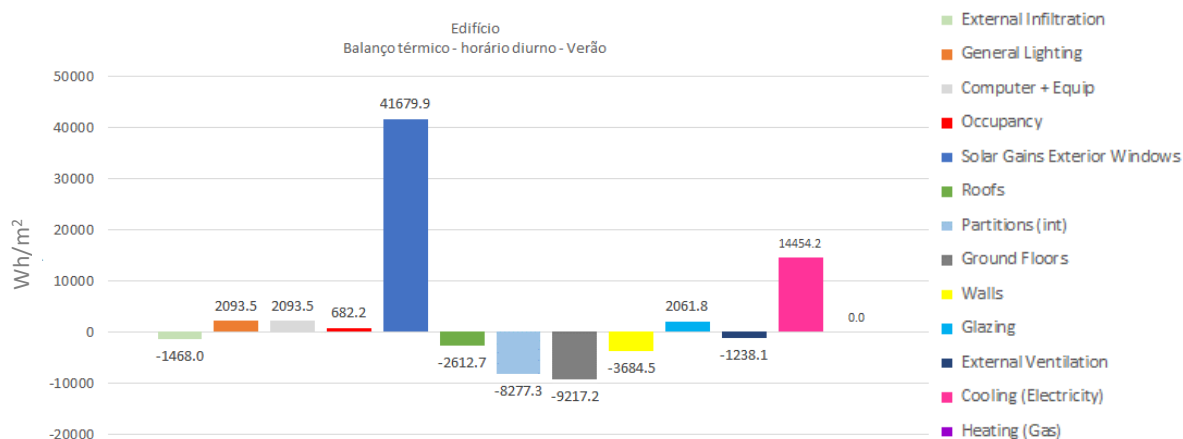


Figura 4.63 – Edifício: balanço térmico de Verão em horário diurno

Já durante o horário noturno, os maiores ganhos de calor revelam-se através das paredes interiores, tendo os ganhos de calor através das paredes exteriores valor considerável. As maiores perdas de calor revelam-se através da ventilação externa, tendo as perdas de calor através da infiltração externa e dos vidros valor relevante. Relativamente às necessidades energéticas para obtermos conforto no interior (18 °C a 25 °C), durante o horário noturno de Verão seria necessário 2 604,1 Wh/m² de energia para arrefecimento.

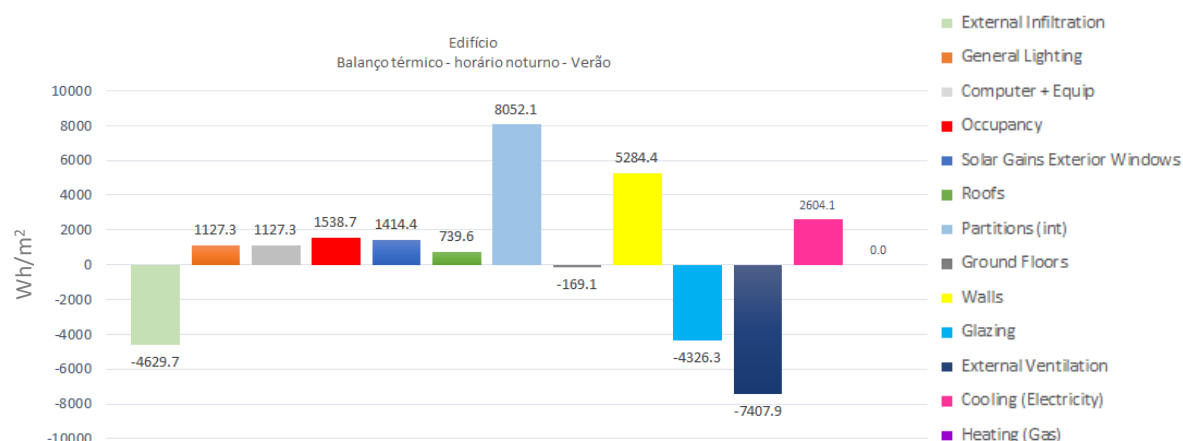


Figura 4.64 – Edifício: balanço térmico de Verão em horário noturno

As Figuras 4.65 e 4.66 representam graficamente, para a estação de aquecimento (Novembro, Dezembro, Janeiro e Fevereiro), o balanço térmico diurno (entre as 7:00 horas e as 19:00 horas) e o balanço térmico noturno (entre as 19:00 horas e as 7:00 horas). Como é possível observar na Figura 4.65, no balanço térmico diurno, os maiores ganhos de calor revelam-se através da radiação solar que atravessa os vãos envidraçados (26 690,0 Wh/m²), evidenciando um valor bastante elevado comparativamente aos restantes ganhos. As maiores perdas revelam-se através da infiltração externa e paredes exteriores, tendo as perdas de calor através das coberturas, dos pavimentos térreos e das paredes interiores, valor considerável.

Relativamente às necessidades energéticas para obtermos conforto no interior (18 °C a 25 °C), durante o horário diurno de Inverno seria necessário 725,7 Wh/m² de energia para arrefecimento e 3 796,4 Wh/m² de energia para aquecimento. É de referir, que embora pareça estranho ser necessário energia

para arrefecimento no Inverno, isto dever-se-á ao fato de que no interior da sala de estar/jantar surgem temperaturas elevadas, que ultrapassam os 25 °C no Inverno, sendo que para conseguir manter o edifício com temperaturas dentro do intervalo de conforto, será necessário portanto, energia para arrefecimento também no Inverno.

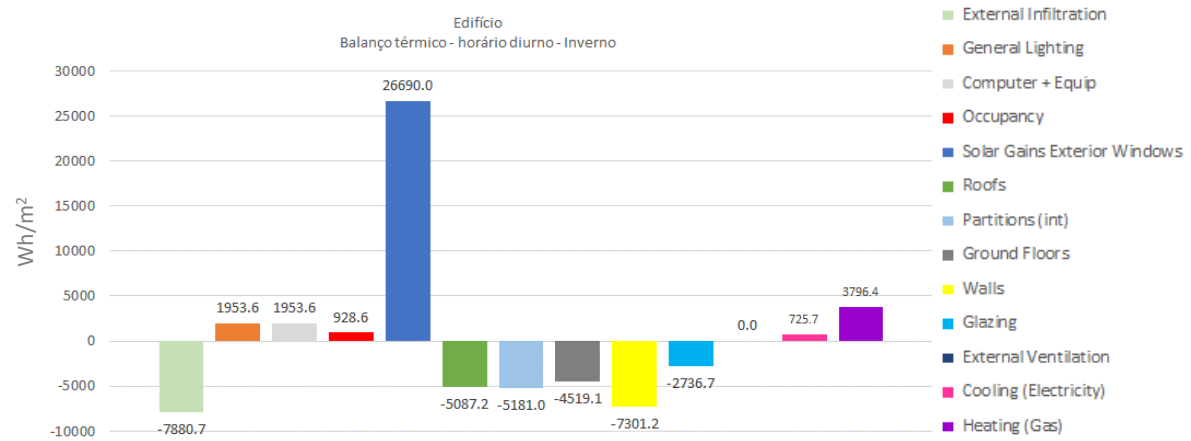


Figura 4.65 – Edifício: balanço térmico de Inverno em horário diurno

Já durante o horário noturno, os maiores ganhos de calor revelam-se através das paredes interiores, tendo os ganhos através dos pavimentos térreos valor considerável. As maiores perdas de calor revelam-se através da infiltração externa, tendo as perdas através dos vidros valor relevante.

Relativamente às necessidades energéticas para obtermos conforto no interior (18 °C a 25 °C), durante o horário noturno de Inverno seria necessário 5 286,4 Wh/m² de energia para aquecimento.

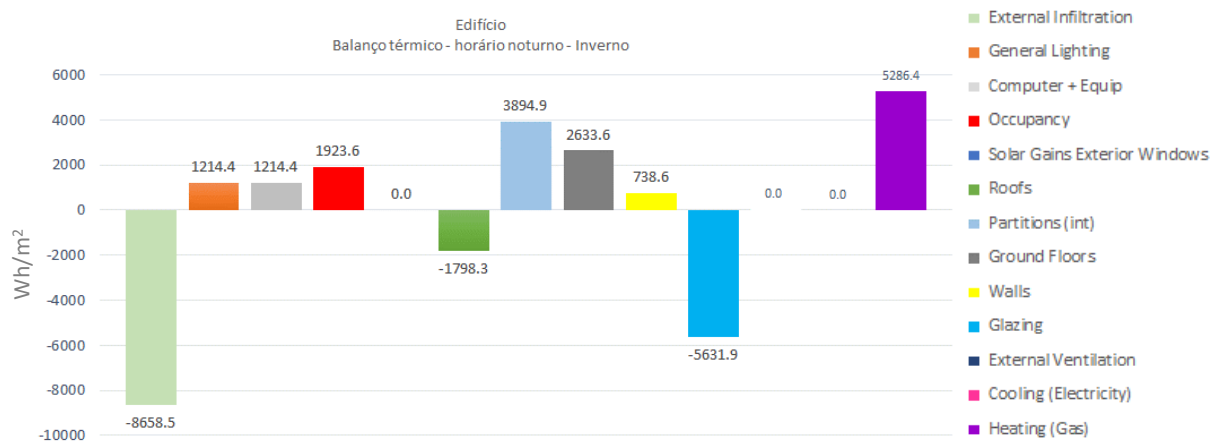


Figura 4.66 – Edifício: balanço térmico de Inverno em horário noturno

As Figuras 4.67 e 4.68 representam graficamente, para todo o ano, o balanço térmico diurno (entre as 7:00 horas e as 19:00 horas) e o balanço térmico noturno (entre as 19:00 horas e as 7:00 horas). Como é possível observar na Figura 4.67, no balanço térmico diurno, ganhos de calor revelam-se através da radiação solar que atravessa os vãos envidraçados (106 565,6 Wh/m²), evidenciando um valor bastante elevado comparativamente aos restantes ganhos. As maiores perdas de calor revelam-se através das paredes interiores e exteriores, da infiltração externa e dos pavimentos térreos.

Relativamente às necessidades energéticas para obtermos conforto no interior (18 °C a 25 °C), durante o horário diurno (anual) seria necessário 3 838,3 Wh/m² de energia para aquecimento e 18 096,0 Wh/m² de energia para arrefecimento.

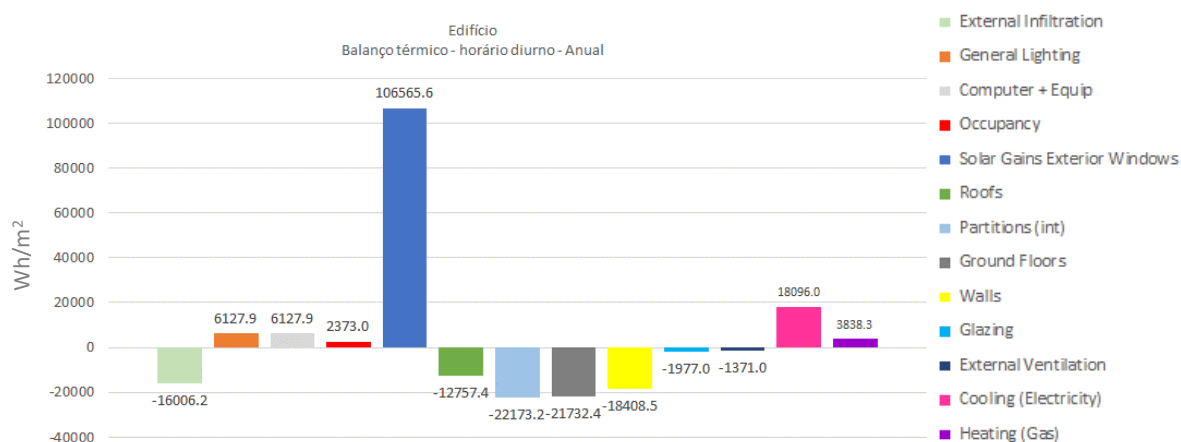


Figura 4.67 – Edifício: balanço térmico anual em horário diurno

Já durante o horário noturno, os maiores ganhos de calor revelam-se através das paredes interiores, tendo os ganhos através das paredes exteriores valor considerável. As maiores perdas de calor revelam-se através da infiltração externa, tendo as perdas através dos vidros valor também significativo.

Relativamente às necessidades energéticas para obtermos conforto no interior (18 °C a 25 °C), durante o horário noturno (anual) seria necessário 5 342,7 Wh/m² de energia para aquecimento e 2 637,6 Wh/m² de energia para arrefecimento.

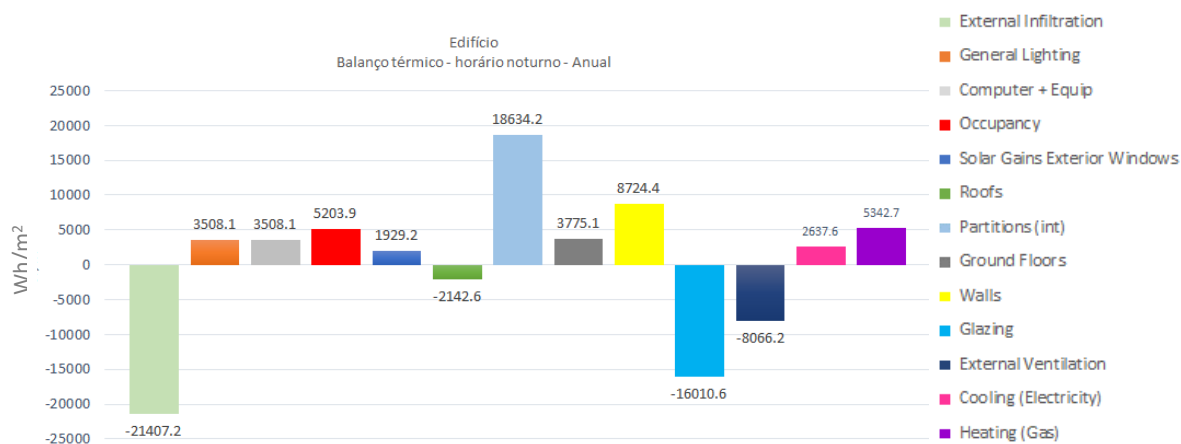


Figura 4.68 – Edifício: balanço térmico anual em horário noturno

No seguimento das Figuras 4.67 e 4.68, será conveniente quantificar a quantidade de energia que será necessária para aquecimento e arrefecimento ao longo de um ano. A Figura 4.69, apresenta o balanço térmico anual do edifício, para as 24 horas de cada dia, ou seja, contemplando o horário diurno e noturno. Os maiores ganhos de calor revelam-se através da radiação solar que atravessa os vãos envidraçados (108 494,8 Wh/m²), evidenciando um valor bastante elevado comparativamente aos restantes ganhos. As maiores perdas de calor revelam-se através da infiltração externa, tendo as perdas através dos pavimentos térreos, dos vidros e das coberturas, valores também significativos.

Relativamente às necessidades energéticas para obtermos conforto no interior (18 °C a 25 °C), durante o horário diurno e noturno (anual), seria necessário 9 181,0 Wh/m² de energia para aquecimento e 20 733,6 Wh/m² de energia para arrefecimento.

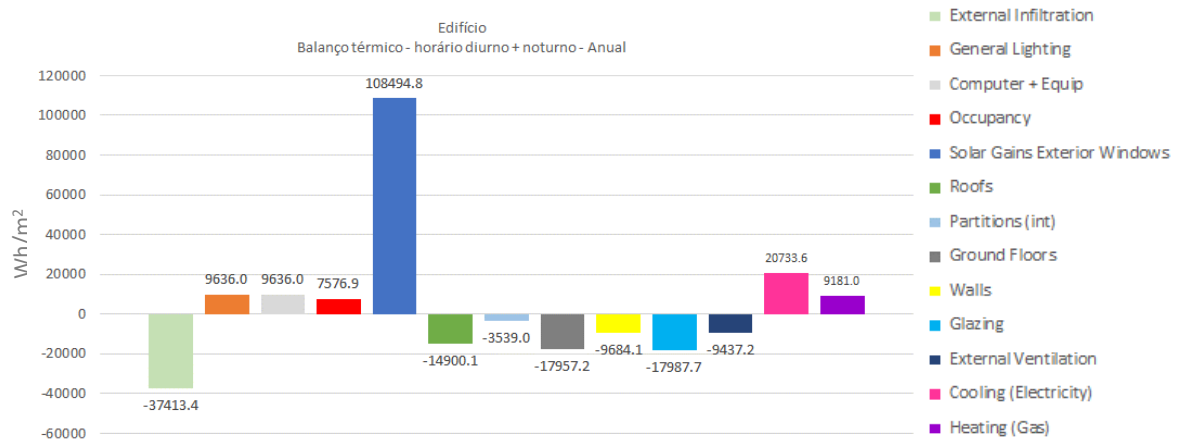


Figura 4.69 – Edifício: balanço térmico anual em horário diurno + noturno

4.3.2. SIMULAÇÃO 2

A presente simulação visa alterar algumas características dos vãos envidraçados, nomeadamente: coeficiente de transmissão térmica (U), fator solar (g_{\perp}) e coeficiente de transmissão luminosa (tv).

Entre os vidros duplos que foram estudados (subcapítulo 4.2.3, quadro 4.1), é de notar, em termos de coeficiente de transmissão térmica (U), são todos de valor equiparado, de forma que não poderá ser critério de escolha. A transmissão da radiação visível (Tvis) tem sobretudo implicações ao nível da iluminação natural, pelo que interessa não comprometer essa iluminação, ou seja, interessa que Tvis não seja demasiado baixa. Quanto ao fator solar (g_{\perp}), nos vãos envidraçados com orientação a Sul, não convém que seja demasiado baixo porque reduz os ganhos solares no Inverno e, no Verão, desde que tenhamos dispositivos de sombreamento ou proteções solares, conseguimos contornar o problema. Nos vãos envidraçados com orientação Este e Oeste, sendo mais difícil proteger os vãos, um fator solar mais baixo é o ideal. Para a clareza, torna-se conveniente penetração da luz, evitando contudo a entrada de calor.

Numa fase inicial e de experimentação, foram simulados dois tipos de vidros, o vidro duplo baixo emissivo e o vidro duplo baixo emissivo e com controlo solar. Destes dois tipos de vidros, o vidro duplo baixo emissivo apresentou melhor comportamento das temperaturas no interior de cada compartimento; originando redução dos ganhos no Verão, sem comprometer tanto a estação de Inverno. Assim sendo, no quadro apresentado no **Anexo E** (Simulação 2: alteração de vãos envidraçados), estão caracterizados os vãos envidraçados que irão ser parte integrante da presente simulação, tendo sido escolhidos vidros duplos de baixa emissividade para todos os compartimentos.

Deste modo, iremos avaliar o conforto do utilizador nos compartimentos afetos à alteração dos vãos envidraçados, ou seja, sala de estar/jantar, cozinha, quarto 1, e instalação sanitária (zona de entrada).

A Figura 4.70, refere-se ao compartimento da **sala de estar/jantar**. Aqui é possível observar que as temperaturas no interior da sala de estar/jantar oscilam entre os 13,66 °C (25 de Janeiro, 7:00h) e os 33,69 °C (5 de Setembro, 14:00 h).

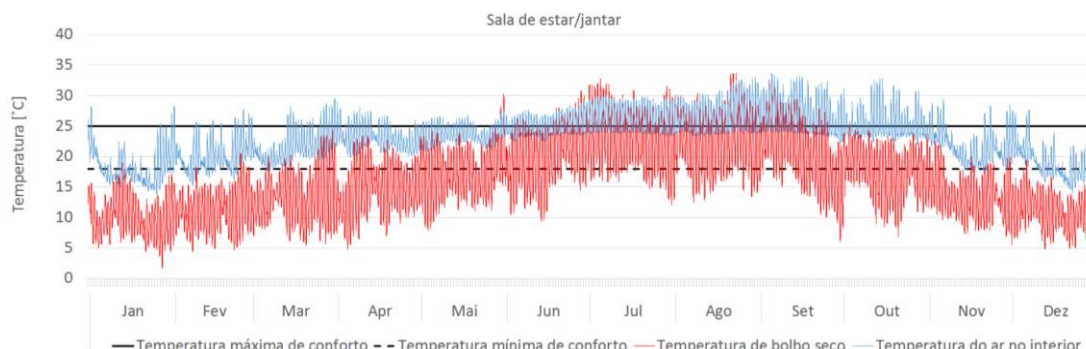


Figura 4.70 – Sala de estar/jantar: temperatura do ar no interior, temperatura de bolbo seco, temperatura máxima (25°C) e mínima (18°C) de conforto

Na Figura 4.71, apresenta-se, para todos os meses do ano, a percentagem de horas em que a temperatura (°C) no interior do compartimento se situa em diferentes intervalos de temperatura.

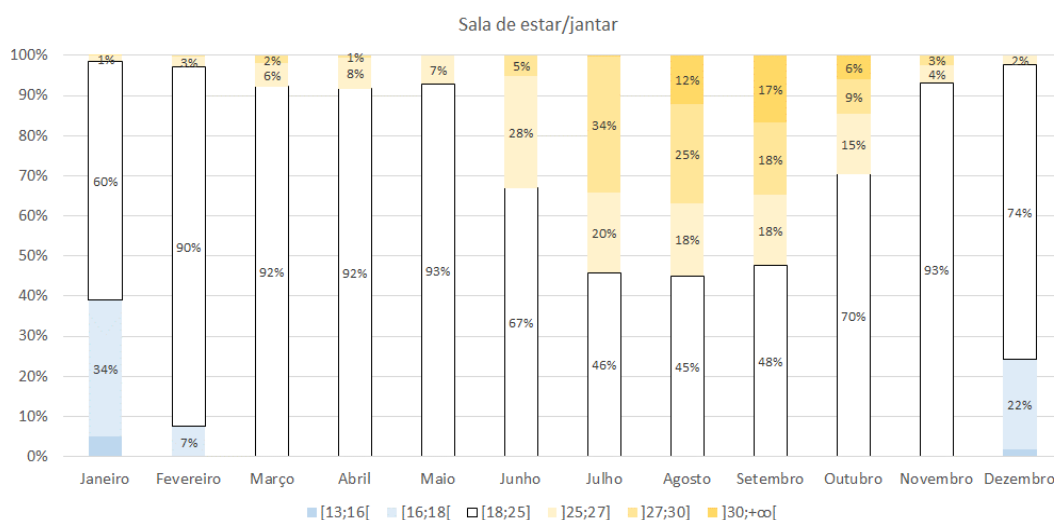


Figura 4.71 – Sala de estar/jantar: percentagem de horas em que a temperatura (°C) no interior do compartimento se situa em diferentes intervalos de temperatura, para todos os meses do ano

Da observação da Figura 4.71, verifica-se que é sobretudo nos meses mais quentes, que se fazem sentir maiores afastamentos face à temperatura máxima de conforto. Os meses de Agosto, Setembro e Outubro, são os meses mais críticos, podendo haver temperaturas superiores a 30°C. Os meses mais frios, não apresentam diferenças tão acentuadas face à temperatura mínima de conforto; contudo, Janeiro, Fevereiro e Dezembro, apresentam temperaturas compreendidas entre 13°C e 18 °C. Os meses de Fevereiro, Março, Abril, Maio, Novembro e Dezembro são os que apresentam maior percentagem de horas com temperaturas dentro do intervalo de conforto; contrariamente aos meses de Julho, Agosto e Setembro, onde se verifica menor percentagem de horas com temperaturas dentro do intervalo de conforto.

Comparando estes resultados relativamente aos obtidos antes da alteração do vão envidraçado na sala de estar/jantar, é de evidenciar um aumento da percentagem de horas com temperaturas dentro do intervalo de conforto, sobretudo de Fevereiro a Novembro, sendo que os meses de Abril, Maio e Junho, apresentam aumentos mais significativos. Contudo, em Janeiro e Dezembro, verifica-se que a percentagem de horas com temperaturas dentro do intervalo de conforto diminuiu, podendo isto ser explicado pela alteração do vão envidraçado (vidro duplo para vidro duplo baixo emissivo), reduzindo a transmissão direta da energia solar para o interior do compartimento. Se por um lado houve uma redução da percentagem das temperaturas que se encontravam dentro do intervalo de conforto; aumentando no Inverno, a percentagem de temperaturas que se encontram compreendidas entre os 13 °C e 18 °C; por outro, a aplicação do vidro duplo baixo emissivo no vão envidraçado da sala de estar/jantar, não resolveu de modo decisivo (embora se denotem algumas melhorias) as temperaturas elevadas que se fazem sentir neste compartimento no Inverno, prevalecendo todavia temperaturas até 30 °C.

A Figura 4.72 representa, para todo o ano, a percentagem de horas em que a temperatura (°C) no interior do compartimento se situa em diferentes intervalos de temperatura.

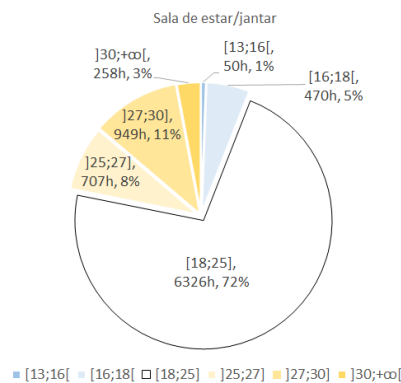


Figura 4.72 – Sala de estar/jantar: percentagem de horas em que a temperatura (°C) no interior do compartimento se situa em diferentes intervalos de temperatura, para todo o ano

Da observação da Figura 4.72, interpretamos que 72% de um total de 8760 horas, apresentam temperaturas dentro do intervalo de conforto. Contudo, existem temperaturas fora do intervalo de conforto. Verificamos que 5 % das horas apresentam temperaturas compreendidas entre 16 °C a 18 °C , 1% das horas apresentam temperaturas compreendidas entre 13°C e 16 °C, 8% das horas apresentam temperaturas compreendidas entre 25 °C e 27 °C, 11% das horas apresentam temperaturas compreendidas entre 27 °C e 30 °C e 3% das horas apresentam temperaturas superiores a 30 °C. Conclui-se então que 72 % das horas apresentam temperaturas dentro do intervalo de conforto; em contrapartida, 28% das horas apresentam temperaturas fora do intervalo de conforto.

Comparando estes resultados relativamente aos obtidos antes da alteração dos vãos envidraçados na sala de estar/jantar, é de evidenciar que anualmente houve um aumento significativo da percentagem de horas com temperaturas dentro do intervalo de conforto.

Analisada a variação das temperaturas no interior do compartimento, procede-se à análise dos ganhos e perdas de calor do compartimento através dos diversos elementos constituintes da envolvente opaca e não opaca (vidros, paredes exteriores, tetos, pavimentos, divisórias, cobertura); renovações de ar na edificação (ventilação natural e infiltração); ganhos de calor do compartimento devido à radiação solar

que passa através do envidraçado e ganhos internos (equipamentos, ocupação e iluminação). No **Anexo J (J2.1, J2.2, J2.3 e J2.4)**, consta a representação gráfica, para a estação de arrefecimento (Junho, Julho, Agosto e Setembro) e para a estação de aquecimento (Novembro, Dezembro, Janeiro e Fevereiro), do balanço térmico diurno (entre as 7:00 horas e as 19:00 horas) e do balanço térmico noturno (entre as 19:00 horas e as 7:00 horas).

No balanço térmico diurno de Verão, os maiores ganhos de calor no compartimento revelam-se através da radiação solar que atravessa os vãos envidraçados ($46\,695,1\text{Wh/m}^2$), evidenciando um valor bastante elevado comparativamente aos restantes ganhos. As maiores perdas de calor no compartimento são devido aos pavimentos térreos e às paredes exteriores. No balanço térmico noturno de Verão os maiores ganhos de calor revelam-se através das paredes exteriores, enquanto as maiores perdas revelam-se através da ventilação externa, tendo as perdas através dos vidros e infiltração externa um valor bastante significativo. Comparando estes resultados relativamente aos obtidos antes da alteração do vão envidraçado na sala de estar/jantar, é de evidenciar uma redução significativa (em cerca de 23,13%) dos ganhos de calor do compartimento através da radiação solar que atravessa os vãos envidraçados no Verão, revelando portanto que o vidro duplo baixo emissivo colocado, reduz a transmissão direta da energia solar para o interior do compartimento; isto porque os revestimentos baixo-emissivos, refletem mais a radiação neles incidente, limitando a entrada de energia solar.

No balanço térmico diurno de Inverno, os maiores ganhos de calor no compartimento revelam-se através da radiação solar que atravessa os vãos envidraçados ($46\,502,5\text{Wh/m}^2$), evidenciando um valor bastante elevado comparativamente aos restantes ganhos. As maiores perdas de calor no compartimento revelam-se através dos pavimentos térreos e paredes exteriores. No balanço térmico noturno de Inverno os maiores ganhos de calor no compartimento revelam-se através das paredes exteriores e pavimentos térreos, enquanto as maiores perdas revelam-se através da infiltração externa e vidros.

Comparando estes resultados relativamente aos obtidos antes da alteração do vão envidraçado na sala de estar/jantar, é de evidenciar uma redução significativa (em cerca de 23,14%) dos ganhos de calor do compartimento através da radiação solar que atravessa os vãos envidraçados no Inverno, revelando portanto que o vidro duplo baixo emissivo colocado, reduz a transmissão direta da energia solar para o interior do compartimento.

A Figura 4.73, refere-se ao compartimento da **cozinha**. Aqui é possível observar que as temperaturas no interior da cozinha oscilam entre os $13,15\text{ }^{\circ}\text{C}$ (25 de Janeiro, 7:00h) e os $30,44\text{ }^{\circ}\text{C}$ (25 de Agosto, 16:00 h).

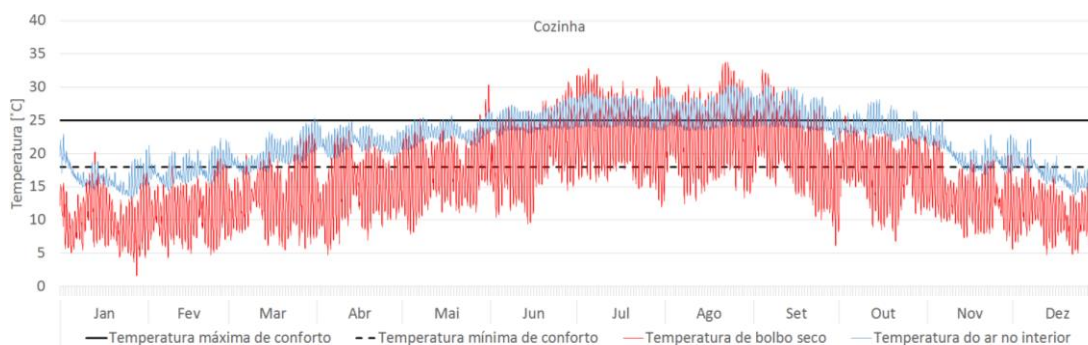


Figura 4.73 – Cozinha: temperatura do ar no interior, temperatura de bolbo seco, temperatura máxima (25°C) e mínima (18°C) de conforto

Na Figura 4.74, apresenta-se, para todos os meses do ano, a percentagem de horas em que a temperatura ($^{\circ}\text{C}$) no interior do compartimento se situa em diferentes intervalos de temperatura.

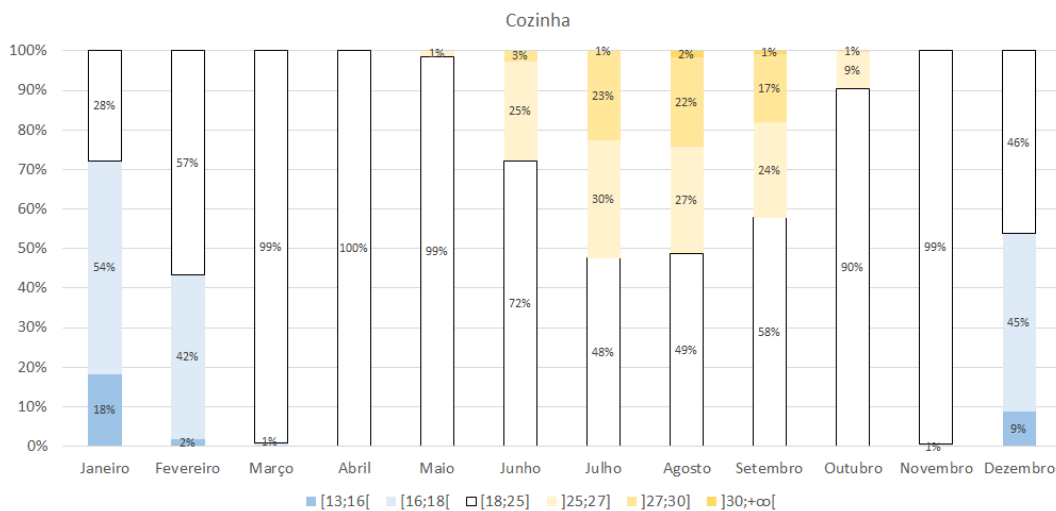


Figura 4.74 – Cozinha: percentagem de horas em que a temperatura ($^{\circ}\text{C}$) no interior do compartimento se situa em diferentes intervalos de temperatura, para todos os meses do ano

Da observação da Figura 4.74, verifica-se que é sobretudo nos meses mais quentes, que se fazem sentir maiores afastamentos face à temperatura máxima de conforto. Os meses de Julho, Agosto e Setembro, são os meses mais críticos, podendo haver temperaturas superiores a 30°C . Os meses mais frios, não apresentam diferenças tão acentuadas face à temperatura mínima de conforto; contudo, Janeiro, Fevereiro e Dezembro, apresentam temperaturas compreendidas entre 13°C e 18°C . Os meses de Março, Abril, Maio, Junho, Outubro e Novembro, são os que apresentam maior percentagem de horas com temperaturas dentro do intervalo de conforto; contrariamente aos meses de Janeiro, Fevereiro, Julho, Agosto, Setembro e Dezembro, onde se verifica menor percentagem de horas com temperaturas dentro do intervalo de conforto.

Comparando estes resultados relativamente aos obtidos antes da alteração dos vãos envidraçados na cozinha, é de evidenciar um aumento da percentagem de horas com temperaturas dentro do intervalo de conforto, sobretudo de Março a Outubro, sendo que os meses de Maio e Junho, apresentam aumentos mais significativos. Contudo em Novembro verifica-se que a percentagem de horas com temperaturas dentro do intervalo de conforto se mantém, não havendo portanto melhorias. No entanto, os meses de Janeiro, Fevereiro e Dezembro, apresentam uma redução da percentagem de horas com temperaturas dentro do intervalo de conforto, podendo isto ser explicado pela alteração do vão envidraçado (vidro duplo para vidro duplo baixo emissivo), reduzindo a transmissão direta da energia solar para o interior do compartimento, gerando assim, uma redução da percentagem das temperaturas que se encontravam dentro do intervalo de conforto; aumentando no Inverno, a percentagem de temperaturas que se encontram compreendidas entre os 13°C e 18°C .

A Figura 4.75 representa, para todo o ano, a percentagem de horas em que a temperatura ($^{\circ}\text{C}$) no interior do compartimento se situa em diferentes intervalos de temperatura.

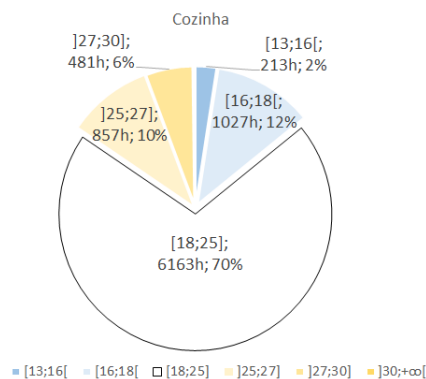


Figura 4.75 – Cozinha: percentagem de horas em que a temperatura (°C) no interior do compartimento se situa em diferentes intervalos de temperatura, para todo o ano

Da observação da Figura 4.75, interpretamos que 70% de um total de 8760 horas, apresentam temperaturas dentro do intervalo de conforto. Contudo, existem temperaturas fora do intervalo de conforto. Verificamos que 12 % das horas apresentam temperaturas compreendidas entre 16 °C a 18 °C , 2% das horas apresentam temperaturas compreendidas entre 13°C e 16 °C, 10% das horas apresentam temperaturas compreendidas entre 25 °C e 27 °C, e 6% das horas apresentam temperaturas compreendidas entre 27 °C e 30 °C . Conclui-se então que 70 % das horas apresentam temperaturas dentro do intervalo de conforto; em contrapartida, 30% das horas apresentam temperaturas fora do intervalo de conforto.

Comparando estes resultados relativamente aos obtidos antes da alteração dos vãos envidraçados na cozinha, é de evidenciar que anualmente houve um aumento da percentagem de horas com temperaturas dentro do intervalo de conforto.

Analisada a variação das temperaturas no interior do compartimento, procede-se à análise dos ganhos e perdas de calor do compartimento através dos diversos elementos constituintes da envolvente opaca e não opaca (vidros, paredes exteriores, tetos, pavimentos, divisórias, cobertura); renovações de ar na edificação (ventilação natural e infiltração); ganhos de calor devido à radiação solar que passa através do envidraçado e ganhos internos (equipamentos, ocupação e iluminação). No **Anexo J (J2.5, J2.6, J2.7 e J2.8)**, consta a representação gráfica, para a estação de arrefecimento (Junho, Julho, Agosto e Setembro) e para a estação de aquecimento (Novembro, Dezembro, Janeiro e Fevereiro), do balanço térmico diurno (entre as 7:00 horas e as 19:00 horas) e do balanço térmico noturno (entre as 19:00 horas e as 7:00 horas).

No balanço térmico diurno de Verão, os maiores ganhos de calor no compartimento revelam-se através da radiação solar que atravessa os vãos envidraçados (55 297,0Wh/m²), evidenciando um valor bastante elevado comparativamente aos restantes ganhos. As maiores perdas de calor do compartimento revelam-se através das paredes interiores e dos pavimentos térreos. No balanço térmico noturno de Verão os maiores ganhos de calor do compartimento revelam-se através das paredes exteriores e interiores, enquanto as maiores perdas de calor do compartimento revelam-se através da ventilação externa, tendo as perdas através dos vidros e infiltração externa um valor bastante significativo. Comparando estes resultados relativamente aos obtidos antes da alteração do vão envidraçado na cozinha, é de evidenciar uma redução significativa (em cerca de 21,96%) dos ganhos de calor do compartimento através da radiação solar que atravessa os vãos envidraçados no Verão, revelando portanto que o vidro duplo baixo emissivo colocado, reduz a transmissão direta da energia solar para o interior do compartimento; isto

porque os revestimentos baixo-emissivos, refletem mais a radiação neles incidente, limitando a entrada de energia solar.

No balanço térmico diurno de Inverno, os maiores ganhos de calor no compartimento revelam-se através da radiação solar que atravessa os vãos envidraçados ($35\,064,0\text{ Wh/m}^2$), evidenciando um valor bastante elevado comparativamente aos restantes ganhos. As maiores perdas de calor do compartimento revelam-se através das paredes interiores e exteriores. No balanço térmico noturno de Inverno os maiores ganhos de calor do compartimento revelam-se através das paredes interiores e pavimentos térreos, enquanto as maiores perdas revelam-se através da infiltração externa e vidros. Comparando estes resultados relativamente aos obtidos antes da alteração do vão envidraçado na cozinha, é de evidenciar uma redução significativa (em cerca de 22,19%) dos ganhos de calor do compartimento através da radiação solar que atravessa os vãos envidraçados no Inverno, revelando portanto que o vidro duplo baixo emissivo colocado, reduz a transmissão direta da energia solar para o interior do compartimento.

A Figura 4.76, refere-se ao compartimento do **quarto 1**. Aqui é possível observar que as temperaturas no interior do quarto 1 oscilam entre os $13,71\text{ }^{\circ}\text{C}$ (25 de Janeiro, 7:00h) e os $30,91\text{ }^{\circ}\text{C}$ (24 de Agosto, 10:00 h).

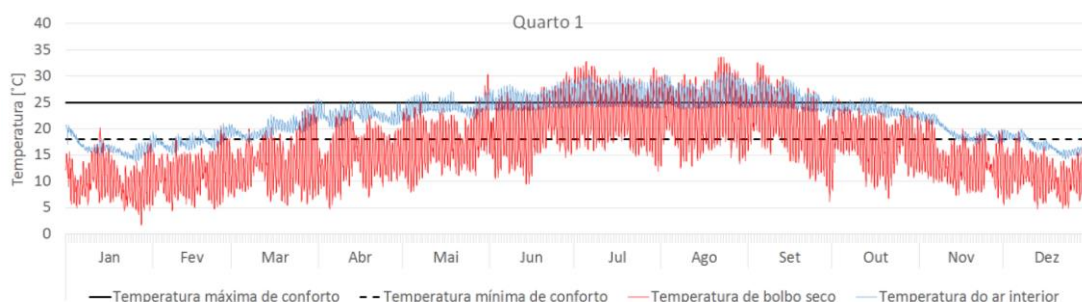


Figura 4.76 – Quarto 1: temperatura do ar no interior, temperatura de bolbo seco, temperatura máxima (25°C) e mínima (18°C) de conforto

Na Figura 4.77, apresenta-se, para todos os meses do ano, a percentagem de horas em que a temperatura ($^{\circ}\text{C}$) no interior do compartimento se situa em diferentes intervalos de temperatura.

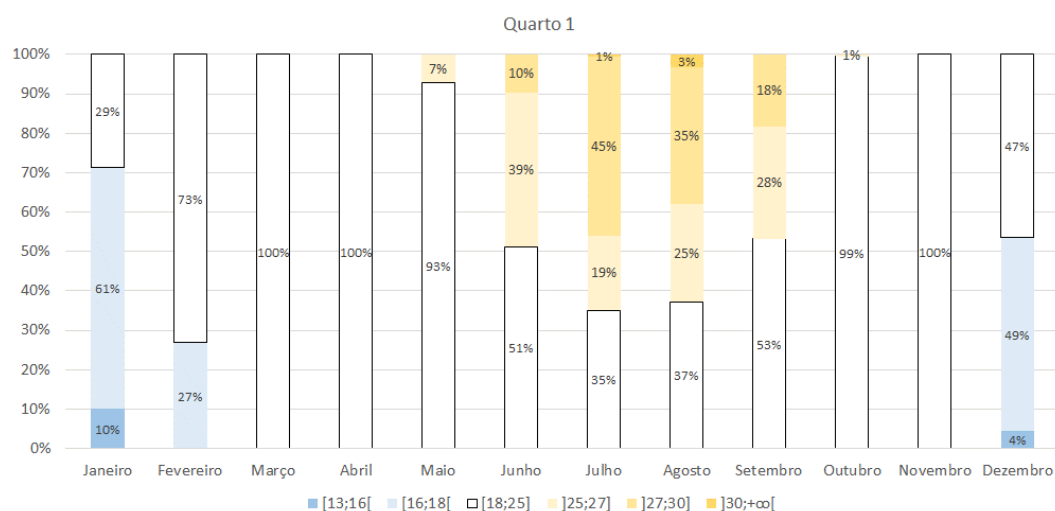


Figura 4.77 – Quarto 1: percentagem de horas em que a temperatura ($^{\circ}\text{C}$) no interior do compartimento se situa em diferentes intervalos de temperatura, para todos os meses do ano

Da observação da Figura 4.77, verifica-se que é sobretudo nos meses mais quentes, que se fazem sentir maiores afastamentos face à temperatura máxima de conforto. Os meses de Julho e Agosto, são os meses mais críticos, podendo haver temperaturas superiores a 30°C. Os meses mais frios, não apresentam diferenças tão acentuadas face à temperatura mínima de conforto; contudo, Janeiro, Fevereiro e Dezembro, apresentam temperaturas compreendidas entre 13°C e 18 °C. Os meses de Fevereiro, Março, Abril, Maio, Outubro e Novembro, são os que apresentam maior percentagem de horas com temperaturas dentro do intervalo de conforto; contrariamente aos meses de Janeiro, Junho, Julho, Agosto, Setembro e Dezembro, onde se verifica menor percentagem de horas com temperaturas dentro do intervalo de conforto.

Comparando estes resultados relativamente aos obtidos antes da alteração dos vãos envidraçados no quarto 1, é de evidenciar um aumento da percentagem de horas com temperaturas dentro do intervalo de conforto, sobretudo de Março a Outubro, sendo que o mês de Maio, apresenta aumentos mais significativos. Contudo, em Janeiro, Fevereiro e Dezembro, verifica-se que a percentagem de horas com temperaturas dentro do intervalo de conforto diminuiu, podendo isto ser explicado pela alteração do vão envidraçado (vidro duplo para vidro duplo baixo emissivo), reduzindo a transmissão direta da energia solar para o interior do compartimento, gerando assim, uma redução da percentagem das temperaturas que se encontravam dentro do intervalo de conforto; aumentando no Inverno (mais propriamente em Janeiro, Fevereiro e Dezembro), a percentagem de temperaturas que se encontram compreendidas entre os 13 °C e 18 °C. Contudo, é ainda de referir que, o mês de Novembro, não apresenta alterações relativamente à percentagem de horas com temperaturas dentro do intervalo de conforto.

A Figura 4.78 representa, para todo o ano, a percentagem de horas em que a temperatura (°C) no interior do compartimento se situa em diferentes intervalos de temperatura.

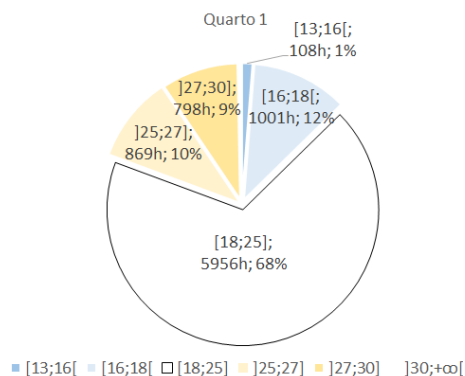


Figura 4.78 – Quarto 1: percentagem de horas em que a temperatura (°C) no interior do compartimento se situa em diferentes intervalos de temperatura, para todo o ano

Da observação da Figura 4.78, interpretamos que 68% de um total de 8760 horas, apresentam temperaturas dentro do intervalo de conforto. Contudo, existem temperaturas fora do intervalo de conforto. Verificamos que 12 % das horas apresentam temperaturas compreendidas entre 16 °C a 18 °C, 1% das horas apresentam temperaturas compreendidas entre 13°C e 16 °C, 10% das horas apresentam temperaturas compreendidas entre 25 °C e 27 °C, e 9% das horas apresentam temperaturas compreendidas entre 27 °C e 30 °C. Conclui-se então que 68 % das horas apresentam temperaturas dentro do intervalo de conforto; em contrapartida, 32% das horas apresentam temperaturas fora do intervalo de conforto.

Comparando estes resultados relativamente aos obtidos antes da alteração dos vãos envidraçados no quarto 1, é de evidenciar que anualmente houve um aumento da percentagem de horas com temperaturas dentro do intervalo de conforto.

Analisada a variação das temperaturas no interior do compartimento, procede-se à análise dos ganhos e perdas de calor do compartimento através dos diversos elementos constituintes da envolvente opaca e não opaca (vidros, paredes exteriores, tetos, pavimentos, divisórias, cobertura); renovações de ar na edificação (ventilação natural e infiltração); ganhos de calor do compartimento devido à radiação solar que passa através do envidraçado e ganhos internos (equipamentos, ocupação e iluminação). No **Anexo J (J2.9, J2.10, J2.11 e J2.12)**, consta a representação gráfica, para a estação de arrefecimento (Junho, Julho, Agosto e Setembro) e para a estação de aquecimento (Novembro, Dezembro, Janeiro e Fevereiro), do balanço térmico diurno (entre as 7:00 horas e as 19:00 horas) e do balanço térmico noturno (entre as 19:00 horas e as 7:00 horas).

No balanço térmico diurno de Verão, os maiores ganhos de calor no compartimento revelam-se através da radiação solar que atravessa os vãos envidraçados ($51\,965,6\text{Wh/m}^2$), evidenciando um valor bastante elevado comparativamente aos restantes ganhos. As maiores perdas de calor do compartimento revelam-se através das paredes interiores e dos pavimentos térreos. No balanço térmico noturno de Verão os maiores ganhos de calor do compartimento revelam-se através das paredes interiores, enquanto as maiores perdas revelam-se através da ventilação externa, tendo as perdas através dos vidros e infiltração externa valores significativos. Comparando estes resultados relativamente aos obtidos antes da alteração do vão envidraçado no quarto 1, é de evidenciar uma redução significativa (em cerca de 22,14%) dos ganhos de calor do compartimento através da radiação solar que atravessa os vãos envidraçados no Verão, revelando portanto que o vidro duplo baixo emissivo colocado, reduz a transmissão direta da energia solar para o interior do compartimento; isto porque os revestimentos baixo-emissivos, refletem mais a radiação neles incidente, limitando a entrada de energia solar.

No balanço térmico diurno de Inverno, os maiores ganhos de calor no compartimento revelam-se através da radiação solar que atravessa os vãos envidraçados ($18\,469,9\text{Wh/m}^2$), evidenciando um valor bastante elevado comparativamente aos restantes ganhos. As maiores perdas de calor do compartimento revelam-se através da infiltração externa. Contudo, as perdas de calor do compartimento através das coberturas, das paredes interiores e dos vidros, possuem valores consideráveis e equiparados. No balanço térmico noturno de Inverno os maiores ganhos de calor do compartimento revelam-se através das paredes interiores, enquanto as maiores perdas revelam-se através da infiltração externa, tendo as perdas de calor do compartimento através dos vidros, um valor bastante significativo. Comparando estes resultados relativamente aos obtidos antes da alteração do vão envidraçado no quarto 1, é de evidenciar uma redução significativa (em cerca de 22,14%) dos ganhos de calor do compartimento através da radiação solar que atravessa os vãos envidraçados no Inverno, revelando portanto que o vidro duplo baixo emissivo colocado, reduz a transmissão direta da energia solar para o interior do compartimento.

A Figura 4.79, refere-se ao compartimento da **instalação sanitária (zona de entrada)**. Aqui é possível observar que as temperaturas no interior da instalação sanitária (zona de entrada) oscilam entre os $13,00^\circ\text{C}$ (27 de Janeiro, 7:00h) e os $22,22^\circ\text{C}$ (25 de Agosto, 14:00 h).

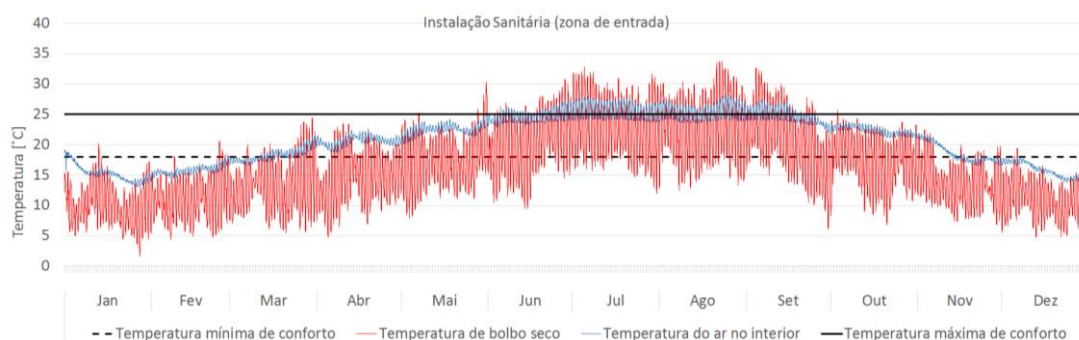


Figura 4.79 – Instalação Sanitária (zona de entrada): temperatura do ar no interior, temperatura de bolbo seco, temperatura máxima (25°C) e mínima (18°C) de conforto

Na Figura 4.80, apresenta-se, para todos os meses do ano, a percentagem de horas em que a temperatura (°C) no interior do compartimento se situa em diferentes intervalos de temperatura.

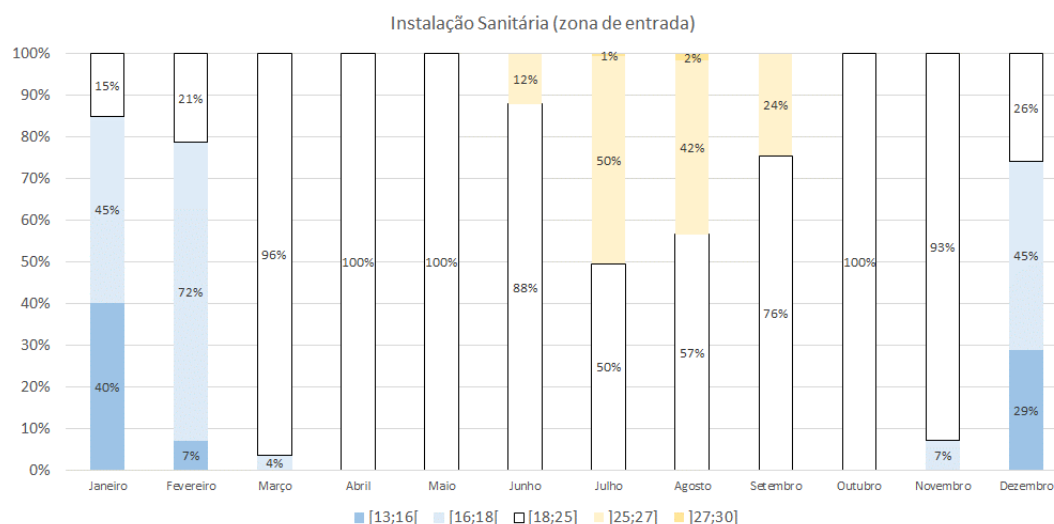


Figura 4.80 – Instalação Sanitária (zona de entrada): percentagem de horas em que a temperatura (°C) no interior do compartimento se situa em diferentes intervalos de temperatura, para todos os meses do ano

Da observação da Figura 4.80, verifica-se que é sobretudo nos meses mais quentes, que se fazem sentir maiores afastamentos face à temperatura máxima de conforto. Os meses de Julho e Agosto, são os meses mais críticos, podendo haver temperaturas compreendidas entre os 25 °C e 30 °C. Os meses mais frios, também apresentam diferenças acentuadas face à temperatura mínima de conforto; sendo que, Janeiro, Fevereiro e Dezembro, apresentam temperaturas compreendidas entre 13 °C e 18 °C. Os meses de Março, Abril, Maio, Junho, Setembro, Outubro e Novembro, são os que apresentam maior percentagem de horas com temperaturas dentro do intervalo de conforto; contrariamente aos meses de Janeiro, Fevereiro e Dezembro, onde se verifica menor percentagem de horas com temperaturas dentro do intervalo de conforto.

Comparando estes resultados relativamente aos obtidos antes da alteração do vão envidraçado na instalação sanitária (zona de entrada), é de evidenciar um aumento da percentagem de horas com temperaturas dentro do intervalo de conforto, sobretudo de Maio a Setembro, sendo que os meses de Junho, Julho e Agosto, apresentam aumentos mais significativos. Contudo em Abril e em Outubro, verifica-se que a percentagem de horas com temperaturas dentro do intervalo de conforto se mantém,

não havendo portanto melhorias. Os meses de Janeiro, Fevereiro, Março, Novembro e Dezembro, apresentam uma redução da percentagem de horas com temperaturas dentro do intervalo de conforto.

A Figura 4.81 representa, para todo o ano, a percentagem de horas em que a temperatura ($^{\circ}\text{C}$) no interior do compartimento se situa em diferentes intervalos de temperatura.

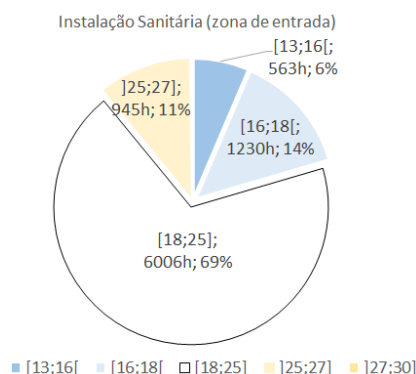


Figura 4.81 – Instalação Sanitária (zona de entrada): percentagem de horas em que a temperatura ($^{\circ}\text{C}$) no interior do compartimento se situa em diferentes intervalos de temperatura, para todo o ano

Da observação da Figura 4.81, interpretamos que 69% de um total de 8760 horas, apresentam temperaturas dentro do intervalo de conforto. Contudo, existem temperaturas fora do intervalo de conforto. Verificamos que 14 % das horas apresentam temperaturas compreendidas entre 16°C a 18°C , 6% das horas apresentam temperaturas compreendidas entre 13°C e 16°C , e 11% das horas apresentam temperaturas compreendidas entre 25°C e 27°C . Conclui-se então que 69 % das horas apresentam temperaturas dentro do intervalo de conforto; em contrapartida, 31% das horas apresentam temperaturas fora do intervalo de conforto.

Comparando estes resultados relativamente aos obtidos antes da alteração do vão envidraçado na instalação sanitária (zona de entrada), é de evidenciar que anualmente houve um aumento da percentagem de horas com temperaturas dentro do intervalo de conforto.

Analisada a variação das temperaturas no interior do compartimento, procede-se à análise dos ganhos e perdas de calor do compartimento através dos diversos elementos constituintes da envolvente opaca e não opaca (vidros, paredes exteriores, tetos, pavimentos, divisórias, cobertura); renovações de ar na edificação (ventilação natural e infiltração); ganhos de calor do compartimento devido à radiação solar que passa através do envidraçado e ganhos internos (equipamentos, ocupação e iluminação). No **Anexo J (J2.13, J2.14, J2.15 e J2.16)**, consta a representação gráfica, para a estação de arrefecimento (Junho, Julho, Agosto e Setembro) e para a estação de aquecimento (Novembro, Dezembro, Janeiro e Fevereiro), do balanço térmico diurno (entre as 7:00 horas e as 19:00 horas) e do balanço térmico noturno (entre as 19:00 horas e as 7:00 horas).

No balanço térmico diurno de Verão, os maiores ganhos de calor no compartimento revelam-se através da radiação solar que atravessa os vãos envidraçados ($31\,837,0\text{Wh/m}^2$), evidenciando um valor bastante elevado comparativamente aos restantes ganhos. As maiores perdas de calor do compartimento revelam-se através das paredes interiores, das paredes exteriores e dos pavimentos térreos. No balanço térmico noturno de Verão os maiores ganhos de calor do compartimento revelam-se através das paredes interiores e exteriores, enquanto as maiores perdas revelam-se através da ventilação externa, tendo as

perdas de calor do compartimento através dos vidros e infiltração externa um valor bastante significativo. Comparando estes resultados relativamente aos obtidos antes da alteração do vão envidraçado na instalação sanitária (zona de entrada), é de evidenciar uma redução significativa (em cerca de 27,31%) dos ganhos de calor do compartimento através da radiação solar que atravessa os vãos envidraçados no Verão, revelando portanto que o vidro duplo baixo emissivo colocado, reduz a transmissão direta da energia solar para o interior do compartimento; isto porque os revestimentos baixo-emissivos, refletem mais a radiação neles incidente, limitando a entrada de energia solar.

No balanço térmico diurno de Inverno, os maiores ganhos de calor no compartimento revelam-se através da radiação solar que atravessa os vãos envidraçados ($7\,821,4\text{ Wh/m}^2$), evidenciando um valor bastante elevado comparativamente aos restantes ganhos. As maiores perdas de calor do compartimento revelam-se através das paredes exteriores. No balanço térmico noturno de Inverno os maiores ganhos de calor do compartimento revelam-se através das paredes interiores, enquanto as maiores perdas revelam-se através da infiltração externa, tendo as perdas de calor do compartimento através das paredes exteriores e vidros um valor bastante significativo.

Comparando estes resultados relativamente aos obtidos antes da alteração do vão envidraçado na instalação sanitária (zona de entrada), é de evidenciar uma redução significativa (em cerca de 32,74%) dos ganhos de calor do compartimento através da radiação solar que atravessa os vãos envidraçados no Verão, revelando portanto que o vidro duplo baixo emissivo colocado, reduz a transmissão direta da energia solar para o interior do compartimento.

4.3.3. SIMULAÇÃO 3

A presente simulação passará pela inclusão de palas de sombreamento sobre os vãos envidraçados do alçado Sul da moradia, um relativo ao compartimento da cozinha (VEV_5) e outro relativo ao compartimento da sala de estar/jantar (VEV_4). Deste modo, será sobre estes vãos envidraçados, que decairá a inclusão das palas de sombreamento 1 e 2. No **Anexo F** (Simulação 3: inclusão de palas de sombreamento horizontais) constam a localização e dimensão das palas de sombreamento projetadas. Este dimensionamento, foi realizado com o apoio do Sun Shading Chart obtido do software Climate Consultant V6.0. Deste modo, iremos avaliar o conforto do utilizador nos compartimentos afetos à inclusão destes sistemas de sombreamento, ou seja, a cozinha e a sala de estar/jantar.

A Figura 4.82, refere-se ao compartimento da **sala de estar/jantar**. Aqui é possível observar que as temperaturas no interior da sala de estar/jantar oscilam entre os $13,97\text{ °C}$ (25 de Janeiro, 7:00h) e os $34,56\text{ °C}$ (14 de Outubro, 14:00 h).

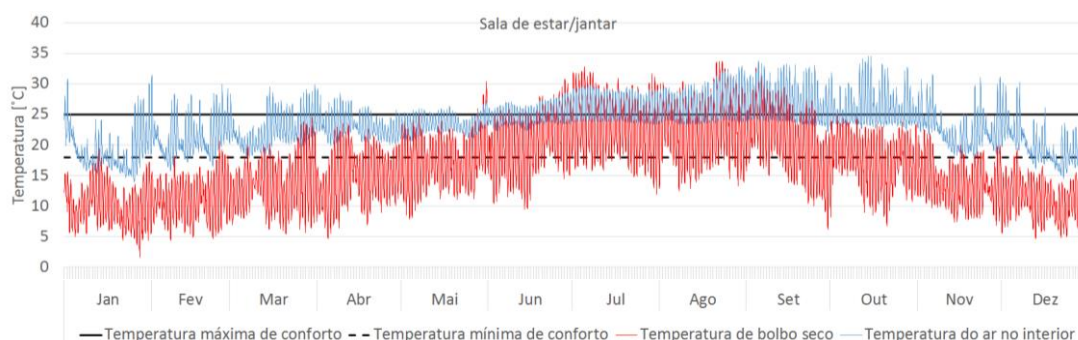


Figura 4.82 – Sala de estar/jantar: temperatura do ar no interior, temperatura de bolbo seco, temperatura máxima (25 °C) e mínima (18 °C) de conforto

Na figura 4.83, apresenta-se, para todos os meses do ano, a percentagem de horas em que a temperatura ($^{\circ}\text{C}$) no interior do compartimento se situa em diferentes intervalos de temperatura.

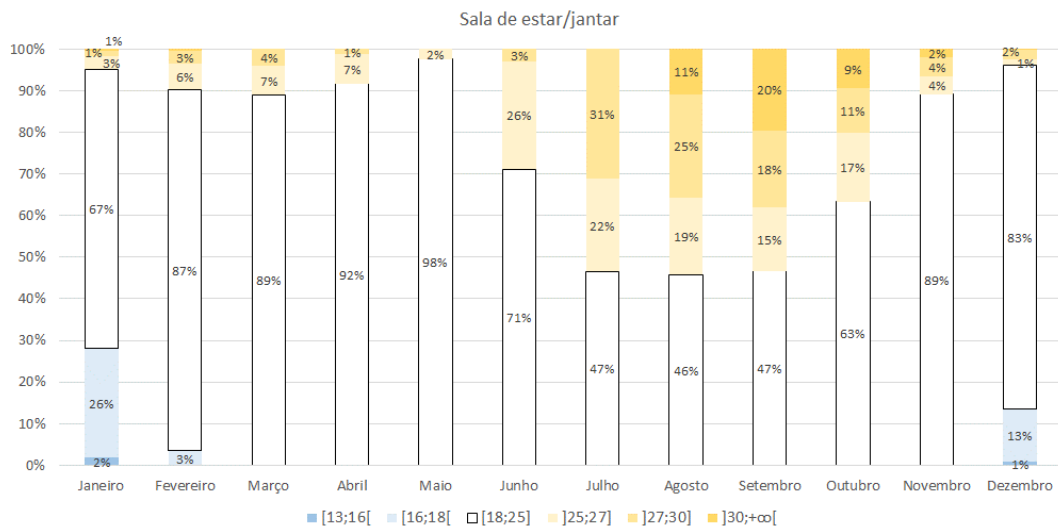


Figura 4.83 – Sala de estar/jantar: percentagem de horas em que a temperatura ($^{\circ}\text{C}$) no interior do compartimento se situa em diferentes intervalos de temperatura, para todos os meses do ano

Da observação da Figura 4.83, verifica-se que é sobretudo nos meses mais quentes, que se fazem sentir maiores afastamentos face à temperatura máxima de conforto. Os meses de Agosto e Setembro e Outubro, são os meses mais críticos, podendo haver temperaturas superiores a 30°C . Os meses mais frios, não apresentam diferenças tão acentuadas face à temperatura mínima de conforto; contudo, Janeiro, Fevereiro e Dezembro, apresentam temperaturas abaixo do limite mínimo do intervalo de conforto, compreendidas entre 13°C e 18°C . Os meses de Fevereiro, Março, Abril, Maio, Junho, Novembro e Dezembro são os que apresentam maior percentagem de horas com temperaturas dentro do intervalo de conforto; contrariamente aos meses de Julho, Agosto e Setembro, onde se verifica menor percentagem de horas com temperaturas dentro do intervalo de conforto.

Comparando estes resultados relativamente aos obtidos antes da inclusão da pala de sombreamento na sala de estar/jantar, é de evidenciar um aumento da percentagem de horas com temperaturas dentro do intervalo de conforto, sobretudo de Fevereiro a Outubro, sendo que os meses de Abril, Maio e Junho, apresentam aumentos mais significativos. Contudo em Janeiro, Novembro e Dezembro, verifica-se que a percentagem de horas com temperaturas dentro do intervalo de conforto se mantem, não havendo portanto melhorias. Concluimos que a inclusão da pala de sombreamento, não resolveu no Inverno, as temperaturas elevadas que se faziam sentir neste compartimento, prevalecendo todavia temperaturas superiores a 30°C .

A Figura 4.84 representa, para todo o ano, a percentagem de horas em que a temperatura ($^{\circ}\text{C}$) no interior do compartimento se situa em diferentes intervalos de temperatura.

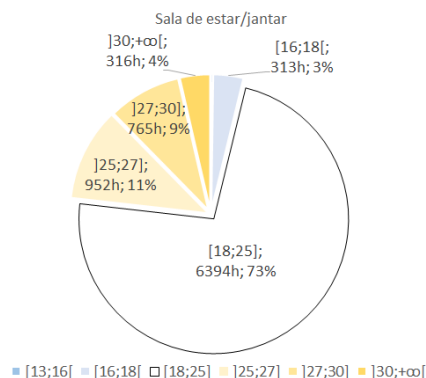


Figura 4.84 – Sala de estar/jantar: percentagem de horas em que a temperatura (°C) no interior do compartimento se situa em diferentes intervalos de temperatura, para todo o ano

Da observação da Figura 4.84, interpretamos que 73% de um total de 8760 horas, apresentam temperaturas dentro do intervalo de conforto. Contudo, existem temperaturas fora do intervalo de conforto. Verificamos que 3 % das horas apresentam temperaturas compreendidas entre 16 °C a 18 °C , 11% das horas apresentam temperaturas compreendidas entre 25°C e 27 °C, 9% das horas apresentam temperaturas compreendidas entre 27 °C e 30 °C, e 4% das horas apresentam temperaturas superiores a 30 °C. Conclui-se então que 73 % das horas apresentam temperaturas dentro do intervalo de conforto; em contrapartida, 27% das horas apresentam temperaturas fora do intervalo de conforto.

Comparando estes resultados relativamente aos obtidos antes da inclusão da pala de sombreamento na sala de estar/jantar, é de evidenciar que anualmente houve um aumento da percentagem de horas com temperaturas dentro do intervalo de conforto.

Analisada a variação das temperaturas no interior do compartimento, procede-se à análise dos ganhos e perdas de calor do compartimento através dos diversos elementos constituintes da envolvente opaca e não opaca (vidros, paredes exteriores, tetos, pavimentos, divisórias, cobertura); renovações de ar na edificação (ventilação natural e infiltração); ganhos de calor do compartimento devido à radiação solar que passa através do envidraçado e ganhos internos (equipamentos, ocupação e iluminação). No **Anexo J (J3.1, J3.2, J3.3 e J3.4)**, consta a representação gráfica, para a estação de arrefecimento (Junho, Julho, Agosto e Setembro) e para a estação de aquecimento (Novembro, Dezembro, Janeiro e Fevereiro), do balanço térmico diurno (entre as 7:00 horas e as 19:00 horas) e do balanço térmico noturno (entre as 19:00 horas e as 7:00 horas).

No balanço térmico diurno de Verão, os maiores ganhos de calor no compartimento revelam-se através da radiação solar que atravessa os vãos envidraçados (41 939,5Wh/m²) , evidenciando um valor bastante elevado comparativamente aos restantes ganhos. As maiores perdas de calor do compartimento revelam-se através das paredes exteriores e dos pavimentos térreos. No balanço térmico noturno de Verão os maiores ganhos de calor do compartimento revelam-se através das paredes exteriores, enquanto as maiores perdas revelam-se através da ventilação externa, tendo as perdas de calor do compartimento através dos vidros e infiltração externa um valor bastante significativo. Comparando estes resultados relativamente aos obtidos antes da inclusão da pala de sombreamento na sala de estar/jantar é de evidenciar uma redução significativa (em cerca de 30,96%) dos ganhos de calor do compartimento através da radiação solar que atravessa os vãos envidraçados no Verão, revelando portanto que o elemento de sombreamento incluído, contribui satisfatoriamente para o conforto no Verão.

No balanço térmico diurno de Inverno, os maiores ganhos de calor no compartimento revelam-se através da radiação solar que atravessa os vãos envidraçados ($58\,805,7\text{Wh/m}^2$), evidenciando um valor bastante elevado comparativamente aos restantes ganhos. As maiores perdas de calor do compartimento revelam-se através das paredes exteriores. Contudo, as perdas de calor do compartimento através dos pavimentos térreos, das coberturas e da infiltração externa possuem valores consideráveis e equiparados. No balanço térmico noturno de Inverno os maiores ganhos de calor do compartimento revelam-se através dos pavimentos térreos e das paredes exteriores, enquanto as maiores perdas revelam-se através dos vidros, tendo as perdas de calor do compartimento através da infiltração externa um valor bastante significativo. Comparando estes resultados relativamente aos obtidos antes da inclusão da pala de sombreamento na sala de estar/jantar, é de evidenciar uma redução, embora pouco significativa (em cerca de 2,80%), dos ganhos de calor do compartimento através da radiação solar que atravessa os vãos envidraçados no Inverno, revelando portanto que o elemento de sombreamento incluído, não obstrui, a passagem da radiação solar para o interior do compartimento de modo tão intensificado, como acontece no Verão, sendo assim, uma condição favorável ao conforto no interior do compartimento.

A Figura 4.85, refere-se ao compartimento da **cozinha**. Aqui é possível observar que as temperaturas no interior da cozinha oscilam entre os $13,15^\circ\text{C}$ (25 de Janeiro, 7:00h) e os $30,32^\circ\text{C}$ (24 de Agosto, 17:00 h).

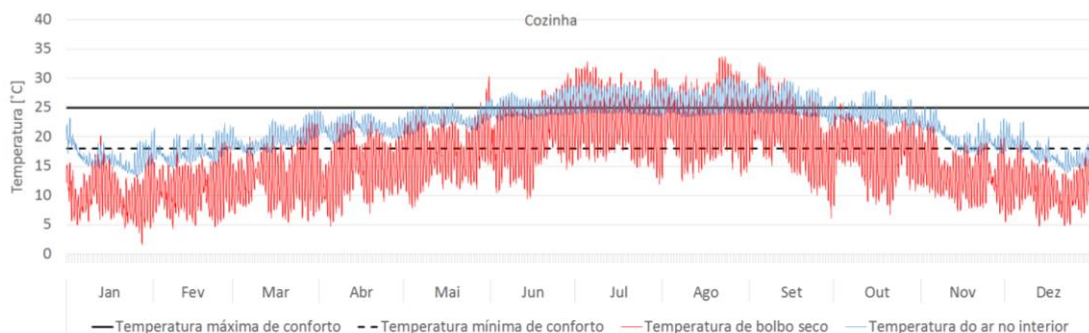


Figura 4.85 – Cozinha: temperatura do ar no interior, temperatura de bolbo seco, temperatura máxima (25°C) e mínima (18°C) de conforto

Na Figura 4.86, apresenta-se, para todos os meses do ano, a percentagem de horas em que a temperatura ($^\circ\text{C}$) no interior do compartimento se situa em diferentes intervalos de temperatura.

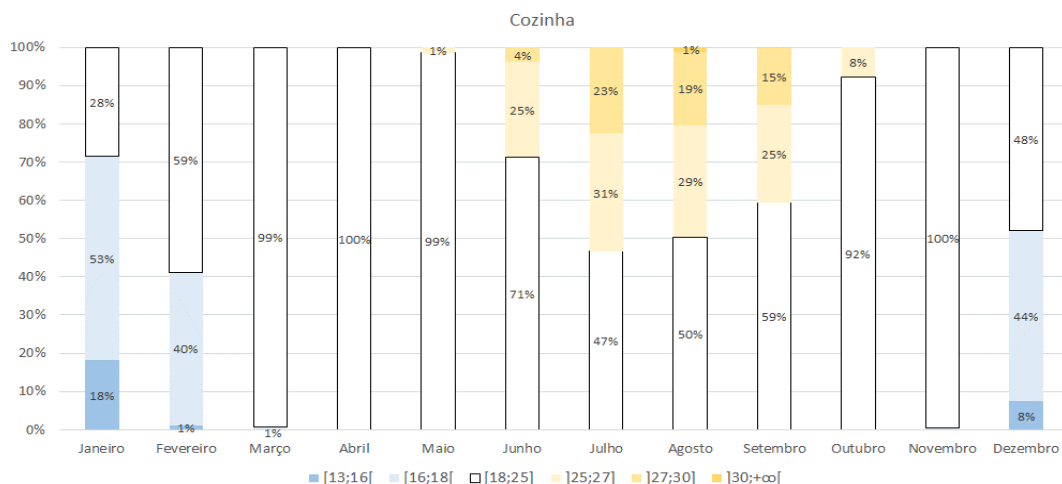


Figura 4.86 – Cozinha: percentagem de horas em que a temperatura ($^\circ\text{C}$) no interior do compartimento se situa em diferentes intervalos de temperatura, para todos os meses do ano

Da observação da Figura 4.86, verifica-se que é sobretudo nos meses mais quentes, que se fazem sentir maiores afastamentos face à temperatura máxima de conforto. O mês de Agosto, é o mês mais crítico, podendo haver temperaturas superiores a 30°C. Os meses mais frios, não apresentam diferenças tão acentuadas face à temperatura mínima de conforto; contudo, Janeiro, Fevereiro e Dezembro apresentam temperaturas compreendidas entre 13°C e 18 °C. Os meses de Março, Abril, Maio, Junho, Outubro e Novembro são os que apresentam maior percentagem de horas com temperaturas dentro do intervalo de conforto; contrariamente aos meses de Janeiro, Fevereiro, Julho, Agosto, Setembro e Dezembro, onde se verifica menor percentagem de horas com temperaturas dentro do intervalo de conforto.

Comparando estes resultados relativamente aos obtidos antes da inclusão da pala de sombreamento na cozinha, é de evidenciar um aumento da percentagem de horas com temperaturas dentro do intervalo de conforto, sobretudo de Março a Novembro, sendo que os meses de Maio a Outubro, apresentam aumentos mais significativos. Contudo em Janeiro e Dezembro, verifica-se uma redução da percentagem de horas com temperaturas dentro do intervalo de conforto.

A Figura 4.87 representa, para todo o ano, a percentagem de horas em que a temperatura (°C) no interior do compartimento se situa em diferentes intervalos de temperatura.

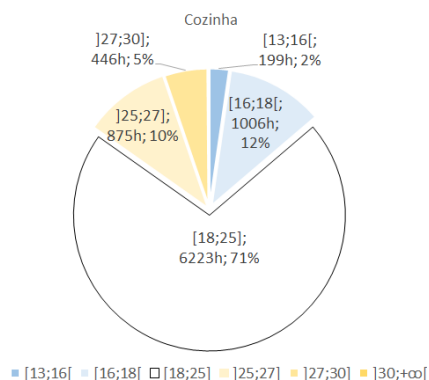


Figura 4.87 – Cozinha: percentagem de horas em que a temperatura (°C) no interior do compartimento se situa em diferentes intervalos de temperatura, para todo o ano

Da observação da Figura 4.87, interpretamos que 71% de um total de 8760 horas, apresentam temperaturas dentro do intervalo de conforto. Contudo, existem temperaturas fora do intervalo de conforto. Verificamos que 2 % das horas apresentam temperaturas compreendidas entre 13 °C e 16 °C, 12 % das horas apresentam temperaturas compreendidas entre 16 °C e 18 °C, 10% das horas apresentam temperaturas compreendidas entre 25 °C e 27 °C, e 5% das horas apresentam temperaturas compreendidas entre 27 e 30 °C. Conclui-se então que 71 % das horas apresentam temperaturas dentro do intervalo de conforto; em contrapartida, 29% das horas apresentam temperaturas fora do intervalo de conforto.

Comparando estes resultados relativamente aos obtidos antes da inclusão da pala de sombreamento na sala de estar/jantar, é de evidenciar que anualmente houve um aumento da percentagem de horas com temperaturas dentro do intervalo de conforto.

Analisada a variação das temperaturas no interior do compartimento, procede-se à análise dos ganhos e perdas de calor do compartimento através dos diversos elementos constituintes da envolvente opaca e não opaca (vidros, paredes exteriores, tetos, pavimentos, divisórias, cobertura); renovações de ar na

edificação (ventilação natural e infiltração); ganhos de calor devido à radiação solar que passa através do envidraçado e ganhos internos (equipamentos, ocupação e iluminação). No **Anexo J (J3.5, J3.6, J3.7 e J3.8)**, consta a representação gráfica, para a estação de arrefecimento (Junho, Julho, Agosto e Setembro) e para a estação de aquecimento (Novembro, Dezembro, Janeiro e Fevereiro), do balanço térmico diurno (entre as 7:00 horas e as 19:00 horas) e do balanço térmico noturno (entre as 19:00 horas e as 7:00 horas).

No balanço térmico diurno de Verão, os maiores ganhos de calor no compartimento revelam-se através da radiação solar que atravessa os vãos envidraçados ($50\,605,1\text{Wh/m}^2$), evidenciando um valor bastante elevado comparativamente aos restantes ganhos. As maiores perdas de calor do compartimento revelam-se através das paredes interiores e dos pavimentos térreos. No balanço térmico noturno de Verão os maiores ganhos de calor do compartimento revelam-se através das paredes interiores e exteriores, enquanto as maiores perdas revelam-se através da ventilação externa, tendo as perdas de calor do compartimento através dos vidros e da infiltração externa um valor bastante significativo. Comparando estes resultados relativamente aos obtidos antes da inclusão da pala de sombreamento na sala de estar/jantar, é de evidenciar uma redução significativa (em cerca de 28,58%) dos ganhos de calor do compartimento através da radiação solar que atravessa os vãos envidraçados no Verão, revelando portanto que o elemento de sombreamento incluído contribui satisfatoriamente para o conforto no Verão.

No balanço térmico diurno de Verão, os maiores ganhos de calor no compartimento revelam-se através da radiação solar que atravessa os vãos envidraçados ($35\,656,0\text{Wh/m}^2$), evidenciando um valor bastante elevado comparativamente aos restantes ganhos. As perdas de calor do compartimento revelam-se através das paredes exteriores e interiores; tendo perdas de calor devido à infiltração externa valores consideráveis. No balanço térmico noturno de Inverno os maiores ganhos de calor do compartimento revelam-se através das paredes interiores e dos pavimentos térreos, enquanto as maiores perdas de calor do compartimento revelam-se através dos vidros, tendo as perdas de calor do compartimento através da infiltração externa um valor bastante significativo. Comparando estes resultados relativamente aos obtidos antes da inclusão da pala de sombreamento na cozinha, é de evidenciar uma redução significativa (em cerca de 20,88%) dos ganhos de calor do compartimento através da radiação solar que atravessa os vãos envidraçados no Inverno.

4.3.4. SIMULAÇÃO 4

A presente simulação visa a inclusão de duas paredes trombe na fachada Sul da Sala de estar/jantar, as paredes trombe 1 e 2. De modo a obter a solução mais eficaz para as paredes trombe 1 e 2, foram simulados dois sistemas de paredes distintos para ambos os casos: a parede trombe ventilada e a parede trombe não ventilada.

As paredes trombe ventiladas, funcionarão com um sistema combinado de radiação e convecção, com a aplicação de aberturas de termocirculação nas suas partes inferior e superior. Por consequência da radiação solar as paredes são aquecidas, sendo parte do calor captado pela parede e outra parte transferida ao ar encerrado entre o vidro e a parede. Posteriormente o calor absorvido pelas paredes é transmitido por convecção e condução aquando da abertura dos orifícios, ou apenas por condução, aquando do fechamento destes. Como já foi referido no capítulo 3, a superfície ótima das aberturas de termocirculação está entre 0,5% e 3% da superfície total da parede de Trombe. Para a presente simulação, foi considerada uma área para as aberturas de ventilação correspondente a aproximadamente 3% da área da parede de Trombe, o que neste caso representa $0,120\text{ m}^2$. As aberturas estão afastadas 5 cm do topo e base da parede. Estão dispostas seis aberturas de termocirculação, três na zona superior e

três na zona inferior da parede, sendo que cada uma delas tem dimensões 0,10 m de altura por 0,20 m de largura. A sua operação está regulada tendo em atenção dois critérios: as estações do ano e o período de dia/noite.

Nas paredes de trombe não ventiladas, o aquecimento processa-se por ação direta da radiação solar que atravessa o vidro e incide na parede cuja superfície deve ser de cor escura. Devido às altas temperaturas que se geram, desenvolvem-se fluxos de calor por condução que atravessam as paredes, até ao interior. A transferência de calor é feita lentamente sendo este acumulado nas paredes durante o dia e gradualmente libertado durante a noite.

Para as simulações 4.1 e 4.2, a parede acumuladora será em betão e a sua superfície será pintada de preto, com valor de coeficiente de absorção, $a=0,8$, no sentido de otimizar os ganhos durante a estação de aquecimento. No Quadro 4.2, apresenta-se o coeficiente de condutibilidade térmica, massa volúmica, calor específico do betão que constitui a parede acumuladora.

Quadro 4.2 – Coeficiente de condutibilidade térmica, Massa Volúmica e Calor Específico do betão

Material	Coeficientes de condutibilidade térmica - λ [W/(m.°C)]	Massa Volúmica [Kg/m³]	Calor Específico [J/kg.K]
Betão	2,00	2400	1000

Para as simulações 4.1 e 4.2, assumiu-se a existência de proteções exteriores em estore de enrolar de plástico com preenchimento de espuma, de cor branca, com um coeficiente de absorção a , igual a 0.4 e resistência térmica de $0,17 \text{ (m}^2\text{.°C)/W}$. Considerou-se para a caixa de ar uma espessura igual a 10 cm, o que equivale a uma resistência térmica da camada de ar de $0,15 \text{ (m}^2\text{.°C)/W}$. Relativamente ao envidraçado, este é constituído por 2 panos de vidro de 6 mm e caixa-de-ar de 13 mm entre estes. O envidraçado apresenta coeficiente de transmissão térmica de valor igual a $2,785 \text{ W/m}^2\text{.°C}$, fator solar de 0,497 e coeficiente de transmissão luminosa de 0,505.

No **Anexo G** (Simulação 4: inclusão de paredes trombe 1 e 2) constam a localização em planta e alçado, e o modo de funcionamento das paredes incluídas nesta simulação. O modo de funcionamento destas, tem por base as estações do ano: Inverno (21 de Dezembro até 20 de Março), Verão (21 de Junho a 20 de Setembro), Primavera (21 de Março a 20 de Junho) e Outono (21 de Setembro a 20 de Dezembro). O subcapítulo 4.3.4.1, apresenta a caracterização construtiva, simulações e resultados, para o caso das paredes trombe ventiladas 1 e 2. No entanto, o subcapítulo 4.3.4.2, apresenta a caracterização construtiva, simulações e resultados, para o caso das paredes trombe não ventiladas 1 e 2.

4.3.4.1. SIMULAÇÃO 4.1 – PAREDES TROMBE VENTILADAS 1 E 2

Numa fase de experimentação, foram simuladas para as paredes acumuladoras em betão, espessuras de 10 cm e 20 cm. Após os resultados obtidos através do programa, a espessura da parede acumuladora em betão, que mais otimiza o seu funcionamento no Inverno e Verão, é de 0,20 m. No Inverno, com o aumento da espessura da parede acumuladora verificou-se um aumento dos ganhos da parede de Trombe. No Verão, o aumento da espessura provocou uma diminuição nos ganhos da parede de Trombe, o que é benéfico na estação de arrefecimento. Esta situação pode ser explicada pelo facto de se considerar que no Verão a parede de Trombe deverá ter as aberturas de ventilação fechadas, funcionando deste modo como uma parede de Trombe não ventilada, pelo que a transferência de calor para o interior do compartimento se dá apenas por condução através da parede acumuladora.

O Quadro 4.3, apresenta a caracterização construtiva das paredes trombe ventiladas 1 e 2, que se incluirão na presente simulação.

Quadro 4.3– Caracterização construtiva das paredes trombe ventiladas 1 e 2

Elemento	Dimensão [m x m]	Constituição	Espessura [m]
Parede Trombe Ventilada 1	1,5 x 2,75	Parede acumuladora em betão 1	0,20
		Caixa-de-ar 1	0,10
		Vidro duplo 1 (6+13+6)	0,025
Parede Trombe Ventilada 2	1,5 x 2,75	Parede acumuladora em betão 2	0,20
		Caixa-de-ar 2	0,10
		Vidro duplo 2 (6+13+6)	0,025

Após termos caracterizado as paredes trombe ventiladas 1 e 2, iremos analisar a evolução da temperatura nas superfícies (interior e exterior) da parede acumuladora em betão, para os dias 27 de Janeiro e 23 de Agosto. Convém referir que, as duas paredes apresentam a mesma caracterização construtiva, dimensão, tendo ainda, a mesma orientação. Por este motivo, apenas se apresentará a evolução da temperatura das superfícies exterior e interior da parede acumuladora em betão de uma das paredes trombe.

As Figuras 4.88 e 4.89, apresentam a evolução da temperatura das superfícies exterior e interior da parede acumuladora em betão 1, ao longo dos dias 27 de Janeiro e 23 de Agosto.

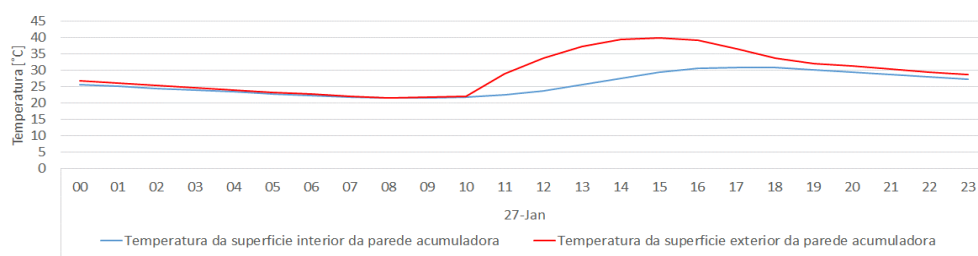


Figura 4.88 – Temperatura da superfície exterior e interior da parede de armazenamento térmico 1, para o dia 27 de Janeiro

Pela observação da Figura 4.88, verificamos que, no dia 27 de Janeiro, entre 00:00 h e as 10:00 h, as superfícies interior e exterior da parede acumuladora em betão apresentam temperaturas semelhantes. Contudo, a partir das 10:00 h a superfície exterior da parede acumuladora em betão começa a apresentar um aumento de temperatura significativo, chegando mesmo a atingir uma temperatura de 40,01°C às 15:00 h. No entanto, este aumento de temperatura da superfície exterior da parede acumuladora, começa a manifestar-se na superfície interior da mesma, ainda que de modo mais lento, apresentando às 15:00 h uma temperatura máxima de 31,0°C.

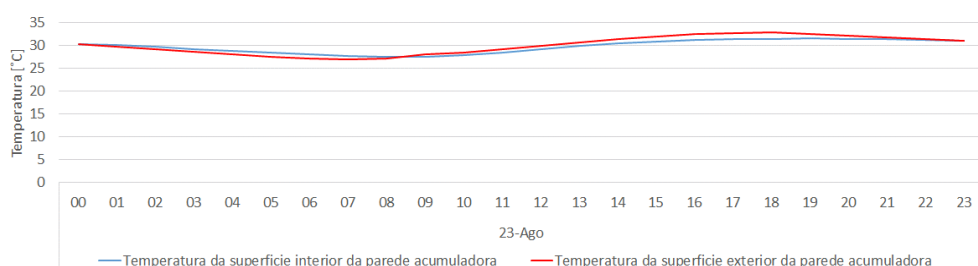


Figura 4.89 – Temperatura da superfície exterior e interior da parede de armazenamento térmico 1, para o dia 23 de Agosto

Pela observação da Figura 4.89, verificamos que, no dia 23 de Agosto as superfícies interior e exterior da parede acumuladora em betão apresentam temperaturas muito similares; sendo este comportamento reflexo do modo de funcionamento da parede trombe para o Verão. Entre as 00:00 h e as 07:00 h a temperatura da superfície exterior da parede em betão é inferior à da superfície interior. Contudo, a partir das 07:00 h acontece o contrário, ou seja, a temperatura da superfície interior da parede em betão é inferior à da superfície exterior, explicando assim o sentido dos fluxos de calor na parede. Verificamos que as temperaturas máxima e mínima da superfície exterior da parede acumuladora são 32,91 °C e 26,95 °C respetivamente; sendo que na superfície interior da parede acumuladora, as temperaturas máximas e mínimas são mais reduzidas, sendo de 31,55 °C e 25,66 °C, respetivamente.

Após termos observado a evolução da temperatura nas superfícies da parede acumuladora 1, procedemos à análise dos resultados obtidos relativamente ao conforto. Pretende-se, deste modo, avaliar o efeito que as paredes trombe ventiladas 1 e 2 manifestam na sala de estar/jantar.

A Figura 4.90, refere-se ao compartimento da **sala de estar/jantar**. Aqui é possível observar que as temperaturas no interior da sala de estar/jantar oscilam entre os 12,49 °C (28 de Novembro, 7:00h) e os 32,48 °C (5 de Setembro, 14:00 h).

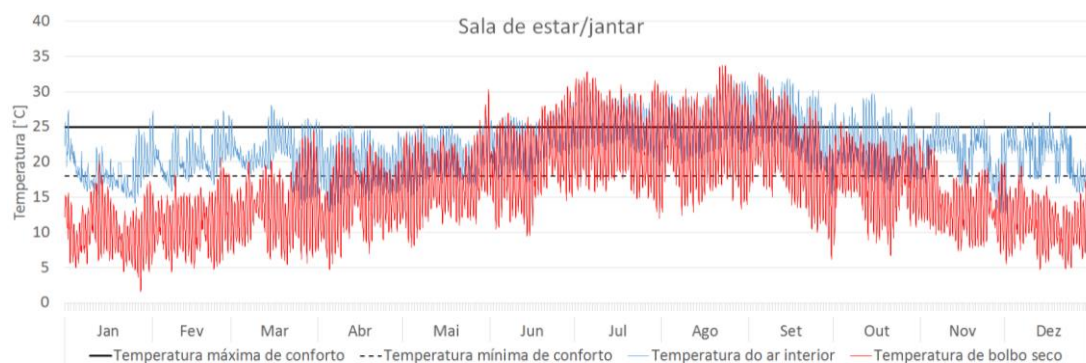


Figura 4.90 – Sala de estar/jantar: temperatura do ar no interior, temperatura de bolbo seco, temperatura máxima (25°C) e mínima (18°C) de conforto

Na Figura 4.91, apresenta-se, para todos os meses do ano, a percentagem de horas em que a temperatura (°C) no interior do compartimento se situa em diferentes intervalos de temperatura.

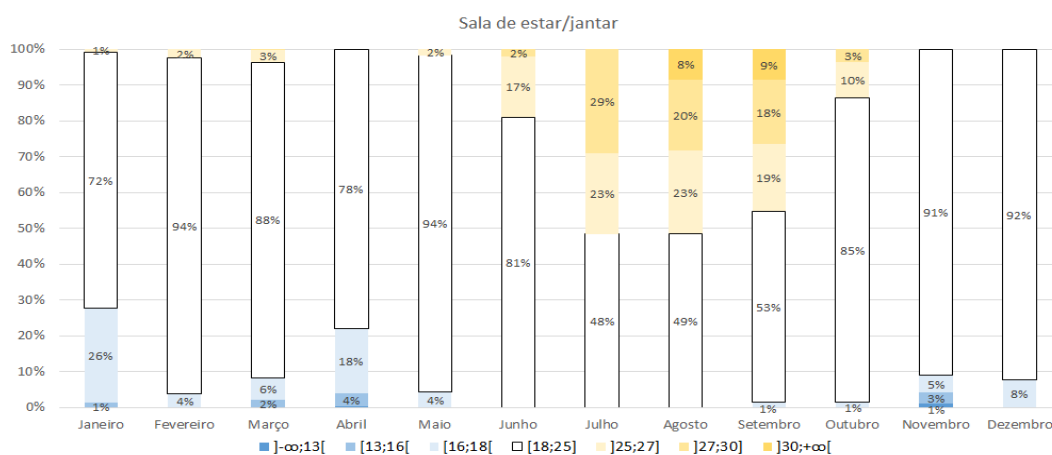


Figura 4.91 – Sala de estar/jantar: percentagem de horas em que a temperatura (°C) no interior do compartimento se situa em diferentes intervalos de temperatura, para todos os meses do ano

Da observação da Figura 4.91, verificamos que é sobretudo nos meses mais quentes, que se fazem sentir maiores afastamentos face à temperatura máxima de conforto, os 25 °C. Os meses de Agosto e Setembro, são os meses mais críticos, podendo haver temperaturas superiores a 30 °C. Os meses mais frios, também apresentam afastamentos consideráveis face à temperatura mínima de conforto; sendo que os meses de Janeiro, Março, Abril e Novembro apresentam temperaturas compreendidas entre os 13 °C e 18 °C. Os meses de Janeiro, Fevereiro, Março, Abril, Maio, Junho, Outubro, Novembro e Dezembro, são os que apresentam maior percentagem de horas com temperaturas dentro do intervalo de conforto; contrariamente aos meses de Julho, Agosto e Setembro, onde se verifica menor percentagem de horas com temperaturas dentro do intervalo de conforto.

Comparando estes resultados relativamente aos obtidos antes da inclusão das paredes trombe 1 e 2 na sala de estar/jantar, é de evidenciar um aumento da percentagem de horas com temperaturas dentro do intervalo de conforto, de Janeiro a Dezembro, sendo que os meses de Maio, Junho e Outubro, apresentam aumentos mais significativos.

A Figura 4.92 representa, para todo o ano, a percentagem de horas em que a temperatura (°C) no interior do compartimento se situa em diferentes intervalos de temperatura.

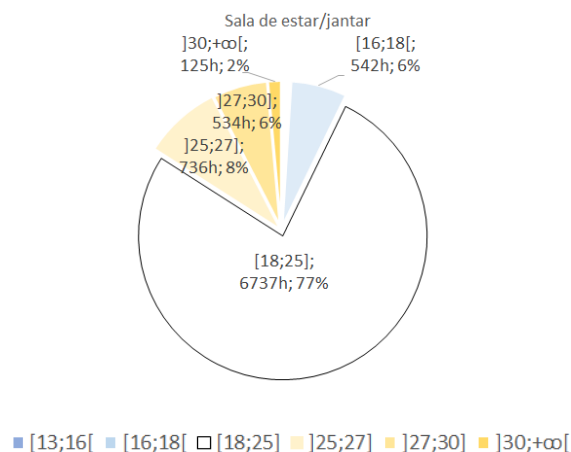


Figura 4.92 – Sala de estar/jantar: percentagem de horas em que a temperatura (°C) no interior do compartimento se situa em diferentes intervalos de temperatura, para todo o ano

Da observação da Figura 4.92, interpretamos que 77% de um total de 8760 horas, apresentam temperaturas dentro do intervalo de conforto (18 °C a 25 °C). Contudo, existem temperaturas fora do intervalo de conforto. Verificamos que 6 % das horas apresentam temperaturas compreendidos entre 16 °C a 18 °C, 8% das horas apresentam temperaturas compreendidas entre 25 °C e 27 °C, 6% das horas apresentam temperaturas compreendidas entre 27 °C e 30 °C, e 2% das horas que apresentam temperaturas superiores a 30 °C. Conclui-se então que 77 % das horas apresentam temperaturas dentro do intervalo de conforto; em contrapartida, 23% das horas apresentam temperaturas fora do intervalo de conforto.

Comparando estes resultados relativamente aos obtidos antes da inclusão das paredes trombe 1 e 2 na sala de estar/jantar, é de evidenciar que anualmente houve um aumento da percentagem de horas com temperaturas dentro do intervalo de conforto.

Analisada a variação das temperaturas no interior do compartimento, procede-se à análise dos ganhos e perdas de calor do compartimento através dos diversos elementos constituintes da envolvente opaca e não opaca (vidros, paredes exteriores, tetos, pavimentos, paredes interiores, cobertura); renovações de ar na edificação (ventilação natural e infiltração); ganhos e perdas de calor do compartimento através das paredes trombe (condução e convecção); ganhos de calor do compartimento devido à radiação solar que passa através do envidraçado e ganhos internos (equipamentos, ocupação e iluminação). Convém fazer referência que, devido a imposição do próprio software, os ganhos ou perdas de calor do compartimento através das paredes trombe (por condução), surgem juntamente com as paredes interiores, visto que o software considera, que a parede acumuladora em betão, constitui uma parede interior. No entanto, os ganhos ou perdas de calor do compartimento através das paredes trombe (por convecção), surgem de modo isolado no balanço térmico. No **Anexo J (J4.1, J4.2, J4.3 e J4.4)**, consta a representação gráfica, para a estação de arrefecimento (Junho, Julho, Agosto e Setembro) e para a estação de aquecimento (Novembro, Dezembro, Janeiro e Fevereiro), do balanço térmico diurno (entre as 7:00 horas e as 19:00 horas) e do balanço térmico noturno (entre as 19:00 horas e as 7:00 horas).

No balanço térmico diurno de Verão, os maiores ganhos de calor no compartimento revelam-se através da radiação solar que atravessa os vãos envidraçados, evidenciando um valor bastante elevado comparativamente aos restantes ganhos. As maiores perdas de calor do compartimento revelam-se através das paredes exteriores e dos pavimentos térreos. No balanço térmico noturno de Verão os maiores ganhos de calor para o compartimento revelam-se através das paredes exteriores, enquanto as maiores perdas revelam-se através da ventilação externa, tendo as perdas de calor do compartimento através dos vidros e infiltração externa valores bastantes significativos.

No balanço térmico diurno de Inverno, os maiores ganhos de calor no compartimento revelam-se através da radiação solar que atravessa os vãos envidraçados, evidenciando um valor bastante elevado comparativamente aos restantes ganhos. As maiores perdas de calor do compartimento revelam-se através das paredes exteriores. Contudo, as perdas de calor do compartimento através dos pavimentos térreos, das coberturas e da infiltração externa possuem valores consideráveis e equiparados. Já no balanço térmico noturno de Inverno os maiores ganhos de calor do compartimento revelam-se através dos pavimentos térreos, das paredes exteriores e das paredes interiores (inclui ganhos de calor através da parede trombe por condução). As maiores perdas de calor do compartimento revelam-se através da infiltração externa e dos vidros.

Relativamente aos ganhos e perdas de calor do compartimento sala de estar/jantar, através das paredes trombe 1 e 2, estes ganhos e perdas têm valor equiparado, isto porque, as duas paredes apresentam a mesma caracterização construtiva, dimensão, tendo ainda, a mesma orientação. Por este motivo, apenas se apresentarão os ganhos e perdas de calor do compartimento através de uma das paredes.

A Figura 4.93 apresenta os ganhos ou perdas de calor do compartimento sala de estar/jantar, através da parede trombe ventilada 1 (por condução), para todos os meses do ano.

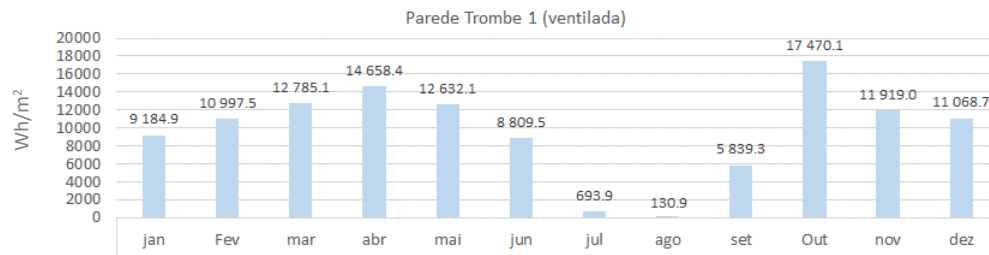


Figura 4.93 – Ganhos ou perdas de calor do compartimento sala de estar/jantar, através da parede trombe ventilada 1 (por condução)

Pela observação da Figura 4.93, verificamos que, de Janeiro a Junho, e de Setembro a Dezembro o compartimento apresenta ganhos de valor elevado, contrariamente aos meses de Julho e Agosto, onde se verifica o oposto. Anualmente, cada uma das paredes trombe, contribui com 116 189,5 Wh/m² de ganhos por condução para o compartimento, perfazendo as duas paredes trombe 232 379,0 Wh/m².

A Figura 4.94 apresenta os ganhos ou perdas de calor do compartimento sala de estar/jantar, através da parede trombe ventilada 1 (por convecção), para todos os meses do ano.

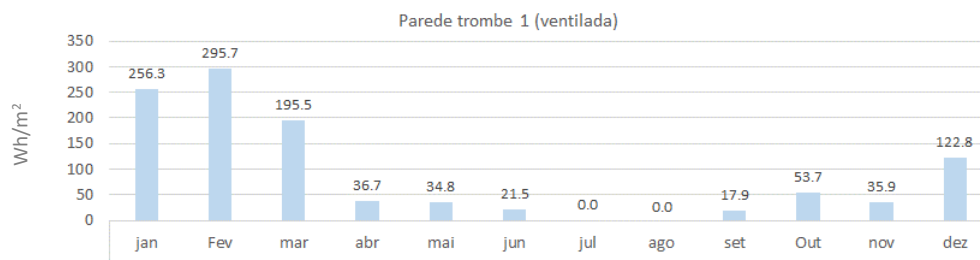


Figura 4.94 – Ganhos ou perdas de calor do compartimento sala de jantar/estar, através da parede trombe ventilada 1 (por convecção)

Pela observação da Figura 4.94, verificamos que os ganhos do compartimento por ventilação através da parede, são bastante inferiores do que os ganhos por condução; contudo de Janeiro a Março, e de Setembro a Dezembro, o compartimento apresenta ganhos de valor elevado, contrariamente aos meses de Abril, Maio, Junho, Setembro, Outubro e Novembro. É também de evidenciar, que nos meses de Julho e Agosto, os ganhos são nulos; sendo isto consequência do modo de funcionamento da parede trombe, já descrito anteriormente (paredes trombe ventiladas com encerramento das aberturas de termocirculação e com encerramento das proteções solares no Verão - 21 de Junho a 20 de Setembro). Anualmente, cada uma das paredes trombe, contribui com 1 070,90Wh/m² de ganhos por convecção para o compartimento, perfazendo as duas paredes trombe 2 141,8 Wh/m².

4.3.4.2.SIMULAÇÃO 4.2 – PAREDES TROMBE NÃO VENTILADAS 1 E 2

O Quadro 4.4, apresenta a caracterização construtiva das paredes trombe não ventiladas 1 e 2, que se incluirão na presente simulação.

Quadro 4.4– Caracterização construtiva das paredes trombe não ventiladas 1 e 2

Elemento	Dimensão [m x m]	Constituição	Espessura [m]
Parede Trombe Não Ventilada 1	1,5 x 2,75	Parede acumuladora em betão 1	0,20
		Caixa-de-ar 1	0,10
		Vidro duplo 1 (6+13+6)	0,025
Parede Trombe Não Ventilada 2	1,5 x 2,75	Parede acumuladora em betão 2	0,20
		Caixa-de-ar 2	0,10
		Vidro duplo 2 (6+13+6)	0,025

Após termos caracterizado as paredes trombe não ventiladas 1 e 2, iremos analisar a evolução da temperatura nas superfícies (interior e exterior) da parede acumuladora em betão, para os dias 27 de Janeiro e 23 de Agosto. Convém referir que, as duas paredes apresentam a mesma caracterização construtiva, dimensão, tendo ainda, a mesma orientação. Por este motivo, apenas se apresentará a evolução da temperatura das superfícies exterior e interior da parede acumuladora em betão de uma das paredes trombe.

As Figuras 4.95 e 4.96, apresentam a evolução da temperatura das superfícies exterior e interior da parede acumuladora em betão 1, ao longo dos dias 27 de Janeiro e 23 de Agosto.

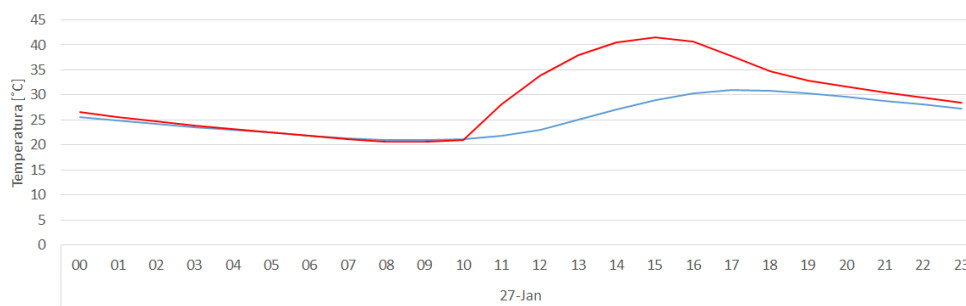


Figura 4.95 – Temperatura da superfície exterior e interior da parede acumuladora 1, para o dia 27 de Janeiro

Pela observação da Figura 4.95, verificamos que, no dia 27 de Janeiro, entre 00:00 h e as 10:00 h, as superfícies interior e exterior da parede acumuladora em betão apresentam temperaturas semelhantes. Contudo, a partir das 10:00 h a superfície exterior da parede acumuladora em betão começa a apresentar um aumento de temperatura significativo, chegando mesmo a atingir uma temperatura de 41,44°C às 15:00 h. No entanto, este aumento de temperatura da superfície exterior da parede acumuladora, começa a manifestar-se na superfície interior da mesma, ainda que de modo mais lento, apresentando às 17:00 h uma temperatura máxima de 30,97°C.

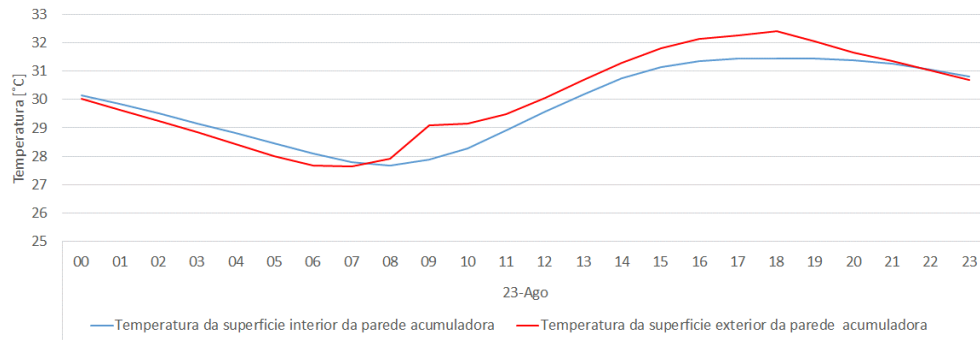


Figura 4.96 – Temperatura da superfície exterior e interior da parede acumuladora 1, para o dia 23 de Agosto

Pela observação da Figura 4.96, verificamos que, no dia 23 de Agosto as superfícies interior e exterior da parede acumuladora em betão apresentam temperaturas muito similares; sendo este comportamento reflexo do modo de funcionamento da parede trombe para o Verão. Entre as 00:00 h e as 07:00 h a temperatura da superfície exterior da parede em betão é inferior à da superfície interior. Contudo, a partir das 07:00 h acontece o contrário, ou seja, a temperatura da superfície interior da parede em betão é inferior à da superfície exterior, explicando assim o sentido dos fluxos de calor na parede. Verificamos que as temperaturas máxima e mínima da superfície exterior da parede acumuladora são 32,40 °C e 27,64 °C respetivamente; sendo que na superfície interior da parede acumuladora, as temperaturas máximas e mínimas são mais reduzidas, sendo de 31,45 °C e 27,68 °C, respetivamente.

Após termos observado a evolução da temperatura nas superfícies da parede acumuladora 1, procedemos à análise dos resultados obtidos relativamente ao conforto. Pretende-se, deste modo, avaliar o efeito que as paredes trombe não ventiladas 1 e 2 manifestam na sala de estar/jantar.

A Figura 4.97, refere-se ao compartimento da **sala de estar/jantar**. Aqui é possível observar que as temperaturas no interior da sala de estar/jantar oscilam entre os 12,37 °C (28 de Novembro, 8:00h) e os 32,52 °C (5 de Setembro, 14:00 h).

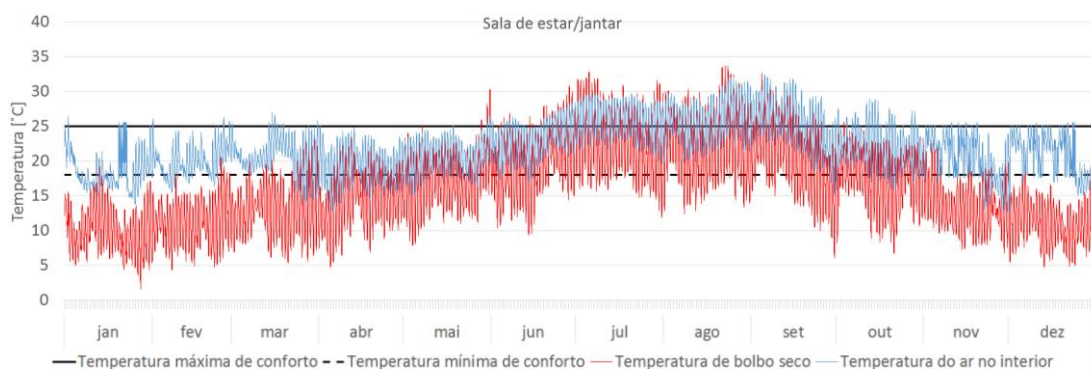


Figura 4.97 – Sala de estar/jantar: temperatura do ar no interior, temperatura de bolbo seco, temperatura máxima (25°C) e mínima (18°C) de conforto

Na Figura 4.98, apresenta-se, para todos os meses do ano, a percentagem de horas em que a temperatura (°C) no interior do compartimento se situa em diferentes intervalos de temperatura.

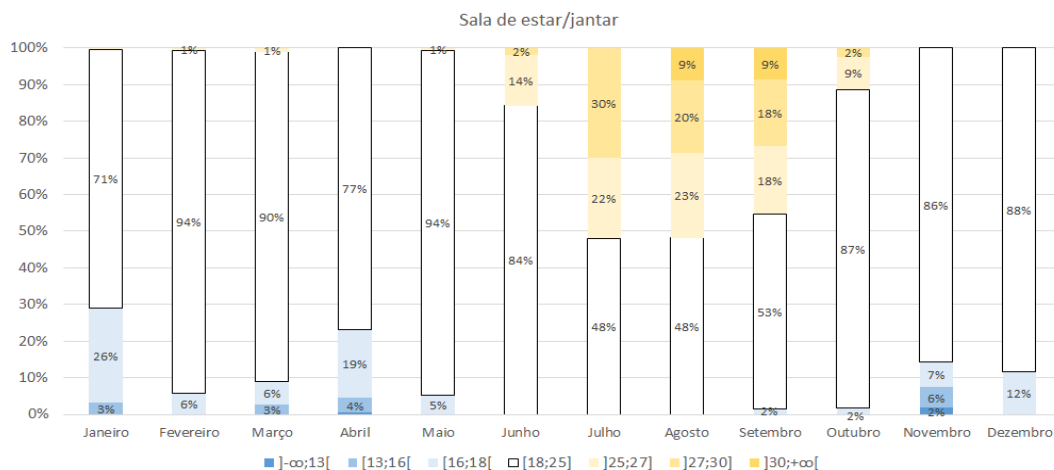


Figura 4.98 – Sala de estar/jantar: percentagem de horas em que a temperatura (°C) no interior do compartimento se situa em diferentes intervalos de temperatura, para todos os meses do ano

Da observação da Figura 4.98, verificamos que é sobretudo nos meses mais quentes, que se fazem sentir maiores afastamentos face à temperatura máxima de conforto, os 25 °C. Os meses de Agosto e Setembro, são os meses mais críticos, podendo haver temperaturas superiores a 30 °C. Os meses mais frios, não apresentam diferenças tão acentuadas face à temperatura mínima de conforto. Os meses de Janeiro, Março e Abril, apresentam temperaturas compreendidas entre os 13 °C e 18 °C, contudo o mês de Novembro apresenta temperaturas inferiores a 13 °C. Os meses de Fevereiro, Março, Abril, Maio, Junho, Outubro, Novembro e Dezembro, são os que apresentam maior percentagem de horas com temperaturas dentro do intervalo de conforto; contrariamente aos meses de Julho, Agosto e Setembro, onde se verifica menor percentagem de horas com temperaturas dentro do intervalo de conforto.

Comparando estes resultados relativamente aos obtidos antes da inclusão das paredes trombe 1 e 2 na sala de estar/jantar, é de evidenciar um aumento da percentagem de horas com temperaturas dentro do intervalo de conforto em todos os meses, exceto em Novembro; sendo que os meses de Junho e Outubro, apresentam aumentos mais significativos.

A Figura 4.99 representa, para todo o ano, a percentagem de horas em que a temperatura (°C) no interior do compartimento se situa em diferentes intervalos de temperatura.

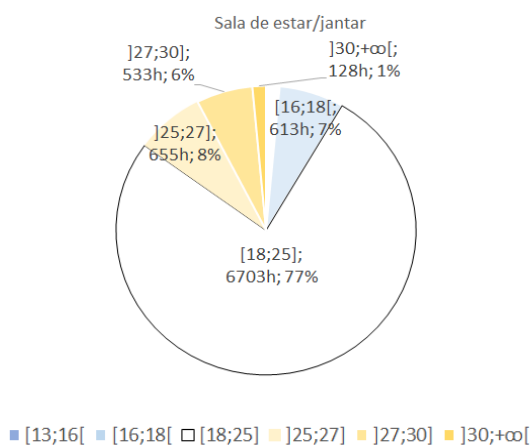


Figura 4.99 – Sala de estar/jantar: percentagem de horas em que a temperatura (°C) no interior do compartimento se situa em diferentes intervalos de temperatura, para todo o ano

Da observação da Figura 4.99, interpretamos que 77% de um total de 8760 horas, apresentam temperaturas dentro do intervalo de conforto (18 °C a 25 °C). Contudo, existem temperaturas fora do intervalo de conforto. Verificamos que 7 % das horas apresentam temperaturas compreendidos entre 16 °C a 18 °C, 8% das horas apresentam temperaturas compreendidas entre 25 °C e 27 °C, 6% das horas apresentam temperaturas compreendidas entre 27 °C e 30 °C, e 1% das horas que apresentam temperaturas superiores a 30 °C. Conclui-se então que 77 % das horas apresentam temperaturas dentro do intervalo de conforto; em contrapartida, 23% das horas apresentam temperaturas fora do intervalo de conforto.

Comparando estes resultados relativamente aos obtidos antes da inclusão das paredes trombe 1 e 2 na sala de estar/jantar, é de evidenciar que anualmente houve um aumento da percentagem de horas com temperaturas dentro do intervalo de conforto.

Analisada a variação das temperaturas no interior do compartimento, procede-se à análise dos ganhos e perdas de calor do compartimento através dos diversos elementos constituintes da envolvente opaca e não opaca (vidros, paredes exteriores, tetos, pavimentos, paredes interiores, cobertura); renovações de ar na edificação (ventilação natural e infiltração); ganhos e perdas de calor do compartimento através das paredes trombe (condução); ganhos de calor do compartimento devido à radiação solar que passa através do envidraçado e ganhos internos (equipamentos, ocupação e iluminação). Convém fazer referência que, devido a imposição do próprio software, os ganhos ou perdas de calor do compartimento através da parede trombe (por condução), surgem juntamente com as paredes interiores, visto que o software considera, que a parede acumuladora em betão, constitui uma parede interior. No **Anexo J (J5.1, J5.2, J5.3 e J5.4)**, consta a representação gráfica, para a estação de arrefecimento (Junho, Julho, Agosto e Setembro) e para a estação de aquecimento (Novembro, Dezembro, Janeiro e Fevereiro), do balanço térmico diurno (entre as 7:00 horas e as 19:00 horas) e do balanço térmico noturno (entre as 19:00 horas e as 7:00 horas).

No balanço térmico diurno de Verão, os maiores ganhos de calor no compartimento revelam-se através da radiação solar que atravessa os vãos envidraçados, evidenciando um valor bastante elevado comparativamente aos restantes ganhos. As maiores perdas de calor do compartimento revelam-se através das paredes exteriores e dos pavimentos térreos. No balanço térmico noturno de Verão os maiores ganhos de calor para o compartimento revelam-se através das paredes exteriores e das paredes interiores (inclui ganhos através das paredes trombe por condução), enquanto as maiores perdas revelam-se através da ventilação externa.

No balanço térmico diurno de Inverno, os maiores ganhos de calor no compartimento revelam-se através da radiação solar que atravessa os vãos envidraçados, evidenciando um valor bastante elevado comparativamente aos restantes ganhos. As maiores perdas de calor do compartimento revelam-se através das paredes exteriores. Contudo, as perdas de calor do compartimento através dos pavimentos térreos, das coberturas e da infiltração externa possuem valores consideráveis e equiparados. No balanço térmico noturno de Inverno os maiores ganhos de calor do compartimento revelam-se através das paredes interiores (inclui ganhos através das paredes trombe por condução), dos pavimentos térreos e das paredes exteriores, enquanto as maiores perdas revelam-se através da infiltração externa e vidros.

Relativamente aos ganhos e perdas de calor do compartimento sala de estar/jantar, através das paredes trombe 1 e 2, estes ganhos e perdas têm valor equiparado, isto porque, as duas paredes apresentam a mesma caracterização construtiva, dimensão, tendo ainda, a mesma orientação. Por este motivo, apenas se apresentarão os ganhos e perdas de calor do compartimento através de uma das paredes.

A Figura 4.100 apresenta os ganhos ou perdas de calor do compartimento através da parede trombe não ventilada 1 (por condução), para todos os meses do ano.

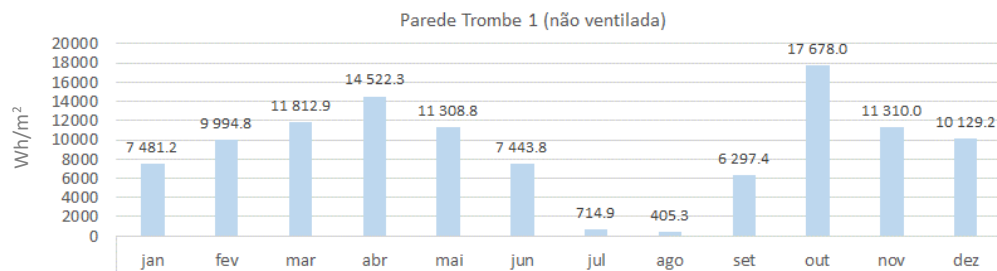


Figura 4.100 – Ganhos ou perdas de calor do compartimento sala de estar/jantar, através da parede trombe não ventilada 1 (por condução)

Pela observação da Figura 4.100, verificamos que, de Janeiro a Junho, e de Setembro a Dezembro, o compartimento apresenta ganhos de valor elevado, contrariamente aos meses de Julho e Agosto, onde se verifica o oposto. Anualmente, cada uma das paredes trombe, contribui com 109 098,6 Wh/m² de ganhos por condução para o compartimento, perfazendo as duas paredes trombe 215 197,2 Wh/m².

Se compararmos os resultados obtidos da presente simulação (paredes trombe não ventiladas 1 e 2), com os obtidos relativos à simulação anterior (paredes trombe ventiladas 1 e 2), facilmente se percebe, que as paredes trombe ventiladas conseguem maior percentagem de horas com temperaturas dentro do intervalo de conforto no interior do compartimento sobretudo no Inverno. No entanto, no Verão estas obtêm resultados semelhantes. Já no Outono e Primavera, as paredes trombe não ventiladas conseguem maior percentagem de horas com temperaturas dentro do intervalo de conforto no interior do compartimento.

Se realizarmos uma comparação anual, relativa a percentagem de horas em que a temperatura do compartimento se situa dentro do intervalo de conforto, verificamos que para as duas soluções de paredes (ventiladas e não ventiladas), a percentagem é a mesma (77%).

4.3.5. SIMULAÇÃO 5

A presente estratégia visa a inclusão de uma parede trombe na parede Sul do quarto 1, a parede trombe 3. De modo a obter a solução mais eficaz da parede trombe 3, foram simulados dois sistemas de paredes distintos para ambos os casos: a parede trombe não ventilada e a parede trombe ventilada.

O sistema de funcionamento da parede trombe ventilada e parede trombe não ventilada assemelha-se ao descrito na simulação 4. Para a presente simulação, na parede de Trombe ventilada foi considerada uma área para as aberturas de ventilação correspondente a aproximadamente 3% da área da parede de Trombe, ou seja 0,08 m². As aberturas estão afastadas 5 cm do topo e base da parede. Estão dispostas quatro aberturas de termocirculação, duas na zona superior e duas na zona inferior da parede, sendo que cada uma delas tem dimensões 0,10 m de altura por 0,20 m de largura.

Para as simulações 5.1 e 5.2, a parede acumuladora será em betão e a sua superfície será pintada de preto, com valor de coeficiente de absorção, $a=0,8$, no sentido de otimizar os ganhos durante a estação de aquecimento. No Quadro 4.5, apresenta-se o coeficiente de condutibilidade térmica, massa volúmica, calor específico do betão que constitui a parede de armazenamento.

Quadro 4.5 – Coeficiente de condutibilidade térmica, Massa Volúmica e Calor Específico do betão

Material	Coeficientes de condutibilidade térmica - λ [W/(m.°C)]	Massa Volúmica [Kg/m³]	Calor Específico [J/kg.K]
Betão	2,00	2400	1000

Para as simulações 5.1 e 5.2, assumiu-se a existência de proteções exteriores em estore de enrolar de plástico com preenchimento de espuma, de cor branca, com um coeficiente de absorção α , igual a 0,4 e resistência térmica de 0,17 (m².°C)/W. Considerou-se para a caixa de ar uma espessura igual a 10 cm, o que equivale a uma resistência térmica da camada de ar de 0,15 (m².°C)/W. Relativamente ao envidraçado, este é constituído por 2 panos de vidro de 6mm e caixa-de-ar de 13 mm entre estes. O envidraçado apresenta coeficiente de transmissão térmica de valor igual a 2,785 W/m².°C, fator solar de 0,497 e coeficiente de transmissão luminosa de 0,505. No **Anexo H** (Simulação 5: inclusão de parede trombe 3) constam a localização em planta e alçado e o modo de funcionamento das paredes incluídas nesta simulação. O modo de funcionamento destas, tem por base as estações do ano: Inverno (21 de Dezembro até 20 de Março), Verão (21 de Junho a 20 de Setembro), Primavera (21 de Março a 20 de Junho) e Outono (21 de Setembro a 20 de Dezembro). O subcapítulo 4.3.5.1, apresenta, para o caso da parede trombe ventilada 3, a sua constituição, as simulações e os resultados obtidos. Já o subcapítulo 4.3.5.2, apresenta para o caso da parede trombe não ventilada 3, a sua constituição, as simulações e os resultados obtidos.

4.3.5.1.SIMULAÇÃO 5.1 – PAREDE TROMBE VENTILADA 3

Numa fase de experimentação, foram simuladas para a parede em betão, espessuras de 10 cm e 20 cm. Após os resultados obtidos através do programa, a espessura da parede acumuladora em betão que mais otimiza o seu funcionamento no Inverno e Verão, é de 0,20 m. No Inverno, com o aumento da espessura da parede acumuladora verificou-se um aumento dos ganhos da parede de Trombe. Quanto mais espessa for mais tempo demorará a transferir o calor ao interior do compartimento e por isso menos ganhos terá. No Verão, o aumento da espessura provoca uma diminuição nos ganhos da parede de Trombe, o que é benéfico na estação de arrefecimento. Esta situação pode ser explicada pelo facto de se considerar que no Verão a parede de Trombe deverá ter as aberturas de ventilação fechadas, funcionando deste modo como uma parede de Trombe não ventilada, pelo que a transferência de calor para o interior do compartimento se dá apenas por condução através da parede acumuladora.

O Quadro 4.6, apresenta a caracterização construtiva da parede trombe ventilada 3, que se incluirá na presente simulação.

Quadro 4.6– Caracterização construtiva da parede trombe ventilada 3

Elemento	Dimensão [m x m]	Constituição	Espessura [m]
Parede Trombe Ventilada 3	0,79 x 2,75	Parede acumuladora em betão 3	0,20
		Caixa-de-ar 3	0,10
		Vidro duplo 3 (6+13+6)	0,025

Após termos caracterizado a parede trombe ventilada 3, iremos analisar a evolução da temperatura nas superfícies (interior e exterior) da parede acumuladora 3, para os dias 27 de Janeiro e 23 de Agosto.

As Figuras 4.101 e 4.102, apresentam a evolução das temperaturas da superfície exterior e interior da parede de armazenamento térmico em betão ao longo dos dias 27 de Janeiro e 23 de Agosto respetivamente.

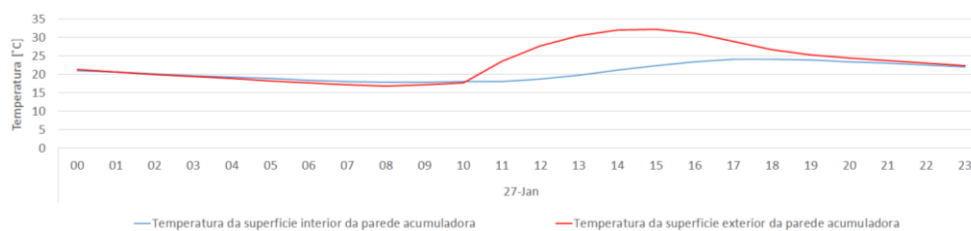


Figura 4.101 – Temperatura da superfície exterior e interior da parede acumuladora 3, para o dia 27 de Janeiro

Pela observação da Figura 4.101, verificamos que, no dia 27 de Janeiro, entre 00:00 h e as 10:00 h, as superfícies interior e exterior da parede acumuladora em betão apresentam temperaturas semelhantes. Contudo, a partir das 10:00 h a superfície exterior da parede acumuladora em betão começa a apresentar um aumento de temperatura significativo, chegando mesmo a atingir uma temperatura de 32,26°C às 15:00 h. No entanto, este aumento de temperatura da superfície exterior da parede acumuladora, começa a manifestar-se na superfície interior da mesma, ainda que de modo mais lento, apresentando às 16:00 h uma temperatura máxima de 24,20°C.

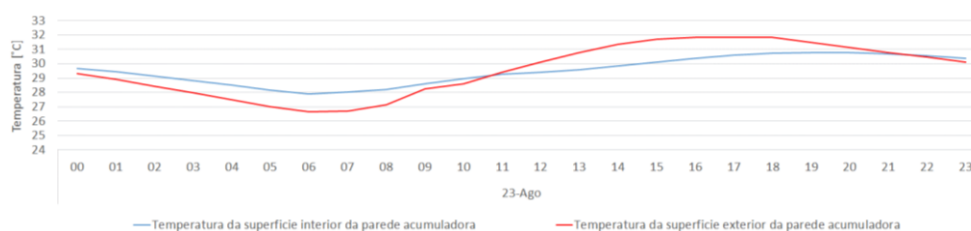


Figura 4.102 – Temperatura da superfície exterior e interior da parede acumuladora 3, para o dia 23 de Agosto

Pela observação da Figura 4.102, verificamos que, no dia 23 de Agosto as superfícies interior e exterior da parede acumuladora em betão apresentam temperaturas muito similares; sendo este comportamento reflexo do modo de funcionamento da parede trombe para o Verão. Entre as 00:00 h e as 11:00 h a temperatura da superfície exterior da parede em betão é inferior à da superfície interior. Contudo, a partir das 11:00 h acontece o contrário, ou seja, a temperatura da superfície interior da parede em betão é inferior à da superfície exterior, explicando assim o sentido dos fluxos de calor na parede. Verificamos que as temperaturas máxima e mínima da superfície exterior da parede acumuladora são 31,86 °C e 16,63 °C respetivamente; sendo que na superfície interior da parede acumuladora, as temperaturas máximas e mínimas são mais reduzidas, sendo de 30,78 °C e 27,89 °C, respetivamente.

Após termos observado a evolução da temperatura nas superfícies da parede acumuladora 3, procedemos à análise dos resultados obtidos relativamente ao conforto. Pretende-se, deste modo, avaliar o efeito que a parede trombe ventilada 3 manifesta no quarto 1.

A Figura 4.103, refere-se ao compartimento do **Quarto 1**. Aqui é possível observar que as temperaturas no interior do quarto 1 oscilam entre os 13,44 °C (22 de Dezembro, 7:00h) e os 31,29 °C (24 de Agosto, 10:00 h).

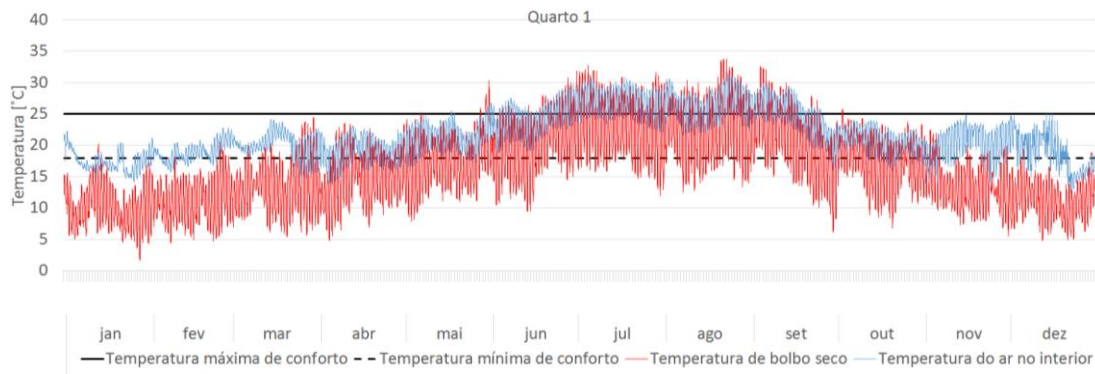


Figura 4.103 – Quarto 1: temperatura do ar no interior, temperatura de bolbo seco, temperatura máxima (25°C) e mínima (18°C) de conforto

Na figura 4.104, apresenta-se, para todos os meses do ano, a percentagem de horas em que a temperatura (°C) no interior do compartimento se situa em diferentes intervalos de temperatura.

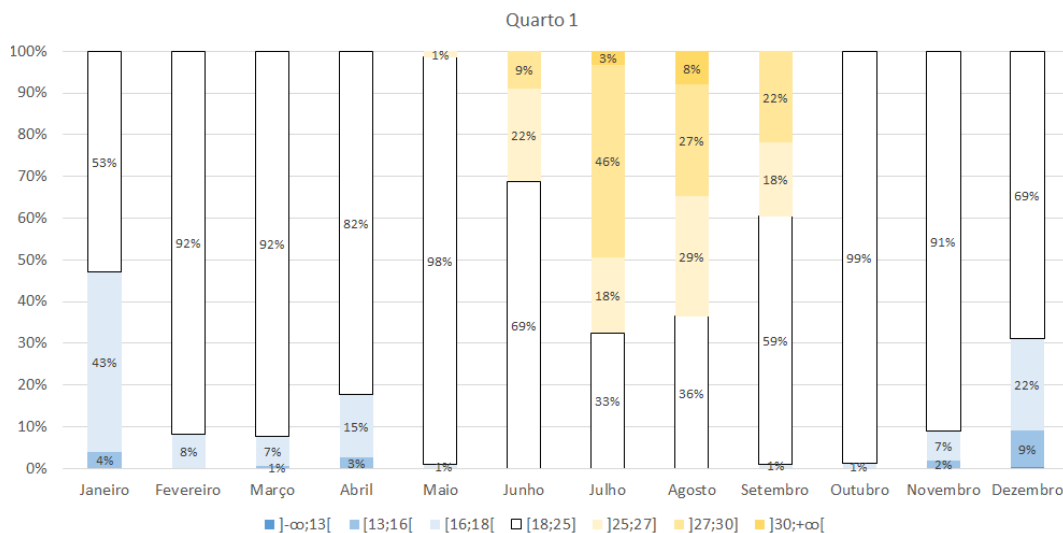


Figura 4.104 – Quarto 1: percentagem de horas em que a temperatura (°C) no interior do compartimento se situa em diferentes intervalos de temperatura, para todos os meses do ano

Da observação da Figura 4.104, verificamos que é sobretudo nos meses mais quentes, que se fazem sentir maiores afastamentos face à temperatura máxima de conforto, os 25 °C. Os meses de Julho e Agosto, são os meses mais críticos, podendo haver temperaturas superiores a 30 °C. Nos meses mais frios, não se verificam afastamentos tão acentuados face ao limite mínimo do intervalo de conforto. Os meses de Janeiro, Março, Abril, Novembro e Dezembro, apresentam temperaturas compreendidas entre os 13 °C e 18 °C. Os meses de Fevereiro, Março, Abril, Maio, Outubro e Novembro, são os que apresentam maior percentagem de horas com temperaturas dentro do intervalo de conforto; contrariamente aos meses de Julho e Agosto, onde se verifica menor percentagem de horas com temperaturas dentro do intervalo de conforto.

Comparando estes resultados relativamente aos obtidos antes da inclusão das paredes trombe 3 no quarto 1, é de evidenciar um aumento da percentagem de horas com temperaturas dentro do intervalo de conforto nos meses de Janeiro, Fevereiro, de Maio a Outubro, e em Dezembro; sendo que os meses de Maio e Junho, apresentam aumentos mais significativos.

A Figura 4.105 representa, para todo o ano, a percentagem de horas em que a temperatura (°C) no interior do compartimento se situa em diferentes intervalos de temperatura.

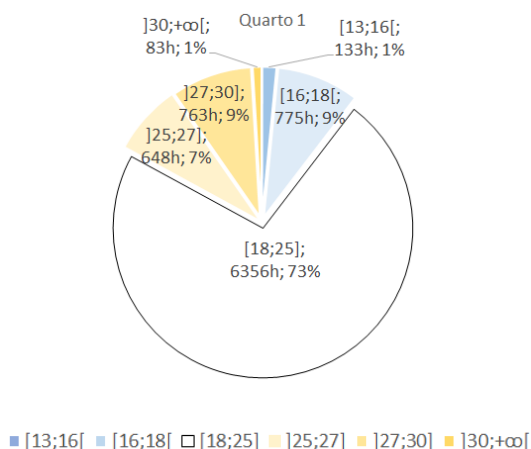


Figura 4.105 – Quarto 1: percentagem de horas em que a temperatura (°C) no interior do compartimento se situa em diferentes intervalos de temperatura, para todo o ano

Da observação da Figura 4.105, interpretamos que 73% de um total de 8760 horas, apresentam temperaturas dentro do intervalo de conforto (18 °C a 25 °C). Contudo, existem temperaturas fora do intervalo de conforto. Verificamos que 9 % das horas apresentam temperaturas compreendidos entre 16 °C a 18 °C, 1% das horas apresentam temperaturas compreendidas entre 13 °C e 16 °C, 7% das horas apresentam temperaturas compreendidas entre 25 °C e 27 °C, 9% das horas apresentam temperaturas compreendidas entre 27 °C e 30 °C, e 1% das horas que apresentam temperaturas superiores a 30 °C. Conclui-se então que 73 % das horas apresentam temperaturas dentro do intervalo de conforto; em contrapartida, 27% das horas apresentam temperaturas fora do intervalo de conforto.

Comparando estes resultados relativamente aos obtidos antes da inclusão da parede trombe 3 no quarto 1, é de evidenciar que anualmente houve um aumento da percentagem de horas com temperaturas dentro do intervalo de conforto.

Analisada a variação das temperaturas no interior do compartimento, procede-se à análise dos ganhos e perdas de calor do compartimento através dos diversos elementos constituintes da envolvente opaca e não opaca (vidros, paredes exteriores, tetos, pavimentos, paredes interiores, cobertura); renovações de ar na edificação (ventilação natural e infiltração); ganhos e perdas de calor do compartimento através da parede trombe (condução e convecção); ganhos de calor do compartimento devido à radiação solar que passa através do envidraçado e ganhos internos (equipamentos, ocupação e iluminação). Convém fazer referência que, devido a imposição do próprio software, os ganhos ou perdas de calor do compartimento através da parede trombe (por condução), surgem juntamente com as paredes interiores, visto que o software considera, que a parede acumuladora em betão, constitui uma parede interior. No entanto, os ganhos ou perdas de calor do compartimento através da parede trombe (por convecção), surgem de modo isolado no balanço térmico. No **Anexo J (J6.1, J6.2, J6.3 e J6.4)**, consta a representação gráfica, para a estação de arrefecimento (Junho, Julho, Agosto e Setembro) e para a estação de aquecimento (Novembro, Dezembro, Janeiro e Fevereiro), do balanço térmico diurno (entre as 7:00 horas e as 19:00 horas) e do balanço térmico noturno (entre as 19:00 horas e as 7:00 horas).

No balanço térmico diurno de Verão, os maiores ganhos de calor no compartimento revelam-se através da radiação solar que atravessa os vãos envidraçados, evidenciando um valor bastante elevado comparativamente aos restantes ganhos. As maiores perdas de calor do compartimento revelam-se através das paredes interiores (inclui ganhos através da parede trombe por condução). No balanço térmico noturno de Verão os maiores ganhos de calor do compartimento revelam-se através das paredes interiores (inclui ganhos através da parede trombe por condução), enquanto as maiores perdas de calor no compartimento revelam-se através da ventilação externa.

No balanço térmico diurno de Inverno, os maiores ganhos de calor no compartimento revelam-se através da radiação solar que atravessa os vãos envidraçados, evidenciando um valor bastante elevado comparativamente aos restantes ganhos. As maiores perdas de calor no compartimento revelam-se através das paredes interiores (inclui ganhos através da parede trombe por condução). No balanço térmico noturno de Inverno os maiores ganhos de calor no compartimento revelam-se através das paredes interiores (inclui ganhos através da parede trombe por condução), enquanto as maiores perdas de calor no compartimento revelam-se através da infiltração externa.

A Figura 4.106 apresenta os ganhos ou perdas de calor do compartimento Quarto 1, através da parede trombe ventilada 3 (por condução), para todos os meses do ano.

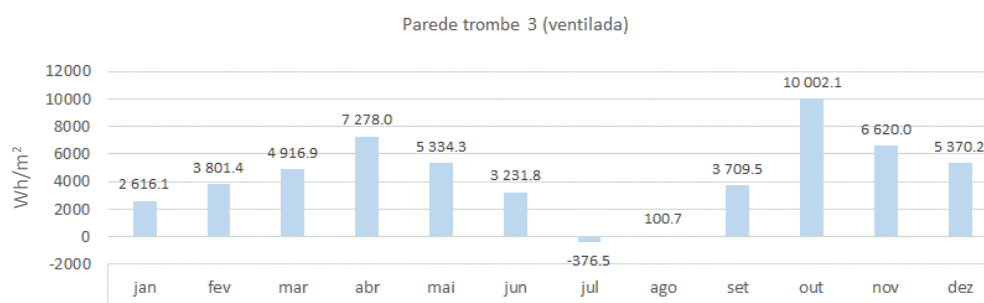


Figura 4.106 – Ganhos ou perdas de calor do compartimento quarto 1, através da parede trombe ventilada 3 (por condução)

Pela observação da Figura 4.106, verificamos que, de Janeiro a Junho, e de Setembro a Dezembro o compartimento apresenta ganhos de valor elevado, contrariamente aos meses de Julho e Agosto, onde se verifica o oposto. Anualmente, a parede trombe 3, contribui com 52 604,4 Wh/m² de ganhos por condução para o compartimento.

A Figura 4.107 apresenta os ganhos ou perdas de calor do compartimento através da parede trombe ventilada 3 (por convecção), para todos os meses do ano.

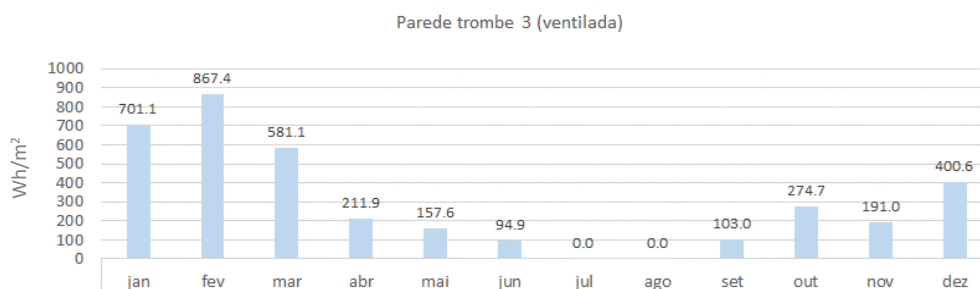


Figura 4.107 – Ganhos ou perdas de calor do compartimento quarto 1, através da parede trombe ventilada 3 (por convecção)

Pela observação da Figura 4.107, verificamos que os ganhos do compartimento por ventilação através da parede são bastante inferiores do que os ganhos por condução; contudo de Janeiro a Março, e em Dezembro, o compartimento apresenta ganhos de valor elevado, contrariamente aos meses de Abril, Maio, Junho, Setembro, Outubro e Novembro. É também de evidenciar, que nos meses de Julho e Agosto, os ganhos são nulos; sendo isto consequência do modo de funcionamento da parede trombe, já descrito anteriormente (parede trombe ventilada com encerramento das aberturas de termocirculação e com encerramento da proteção solar no Verão- 21 de Junho a 20 de Setembro). Anualmente, a parede trombe, contribui com 3 583,2 Wh/m² de ganhos por convecção para o compartimento.

4.3.5.2.SIMULAÇÃO 5.2 – PAREDE TROMBE NÃO VENTILADA 3

O Quadro 4.7, apresenta a caracterização construtiva da parede trombe não ventilada 3, que se incluirá na presente simulação.

Quadro 4.7– Caracterização construtiva da parede trombe não ventilada 3

Elemento	Dimensão [m x m]	Constituição	Espessura [m]
Parede Trombe Não Ventilada 3	0,79 x 2,75	Parede acumuladora em betão 3	0,20
		Caixa-de-ar 3	0,10
		Vidro duplo 3 (6+13+6)	0,025

Após termos caracterizado a parede trombe não ventilada 3, iremos analisar a evolução da temperatura nas superfícies (interior e exterior) da parede acumuladora 3, para os dias 27 de Janeiro e 23 de Agosto.

As Figuras 4.108 e 4.109, apresentam a evolução das temperaturas da superfície exterior e interior da parede de armazenamento térmico em betão ao longo dos dias 27 de Janeiro e 23 de Agosto respetivamente.

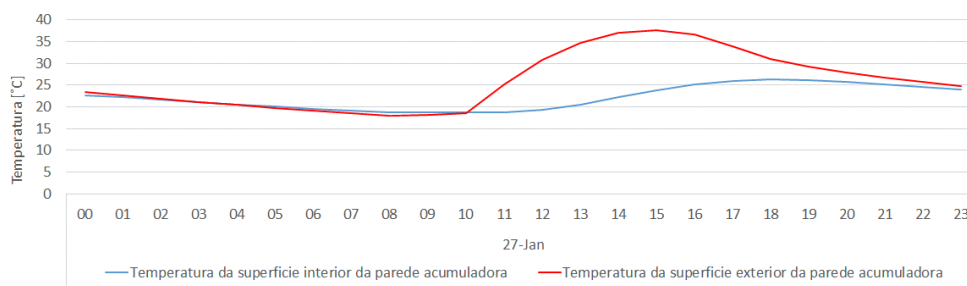


Figura 4.108 – Temperatura da superfície exterior e interior da parede de armazenamento térmico 3, para o dia 27 de Janeiro

Pela observação da Figura 4.108, verificamos que, no dia 27 de Janeiro, entre 00:00 h e as 10:00 h, as superfícies interior e exterior da parede acumuladora em betão apresentam temperaturas semelhantes. Contudo, a partir das 10:00 h a superfície exterior da parede acumuladora em betão começa a apresentar um aumento de temperatura significativo, chegando mesmo a atingir uma temperatura de 37,67°C às 15:00 h. No entanto, este aumento de temperatura da superfície exterior da parede acumuladora, começa a manifestar-se na superfície interior da mesma, ainda que de modo mais lento, apresentando às 18:00 h uma temperatura máxima de 26,35°C.

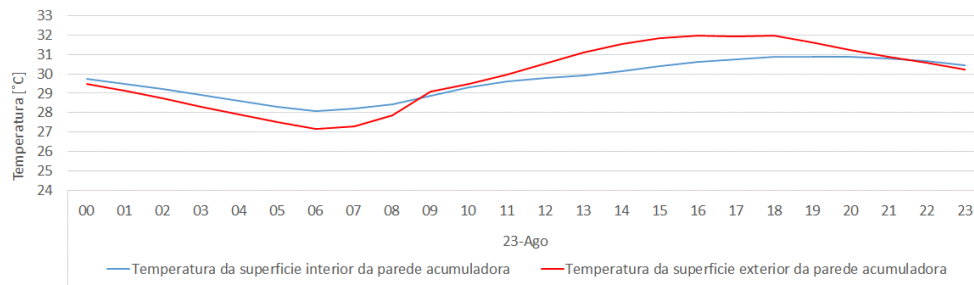


Figura 4.109 – Temperatura da superfície exterior e interior da parede de armazenamento térmico 3, para o dia 23 de Agosto

Pela observação da Figura 4.109, verificamos que, no dia 23 de Agosto as superfícies interior e exterior da parede acumuladora em betão apresentam temperaturas muito similares; sendo este comportamento reflexo do modo de funcionamento da parede trombe para o Verão. Entre as 00:00 h e as 09:00 h a temperatura da superfície exterior da parede em betão é inferior à da superfície interior. Contudo, a partir das 09:00 h acontece o contrário, ou seja, a temperatura da superfície interior da parede em betão é inferior à da superfície exterior, explicando assim o sentido dos fluxos de calor na parede. Verificamos que as temperaturas máxima e mínima da superfície exterior da parede acumuladora são 31,98 °C e 27,15 °C respetivamente; sendo que na superfície interior da parede acumuladora, a temperatura máxima é mais baixa, sendo de 30,90 °C e a mínima é mais elevada, sendo de 28,06 °C.

Após termos observado a evolução da temperatura nas superfícies da parede acumuladora 3, procedemos à análise dos resultados obtidos relativamente ao conforto. Pretende-se, deste modo, avaliar o efeito que a parede trombe não ventiladas 3 manifesta no quarto 1.

A Figura 4.110, refere-se ao compartimento do **Quarto 1**. Aqui é possível observar que as temperaturas no interior do quarto 1 oscilam entre os 10,62 °C (20 de Dezembro, 7:00h) e os 31,24 °C (24 de Agosto, 10:00 h).

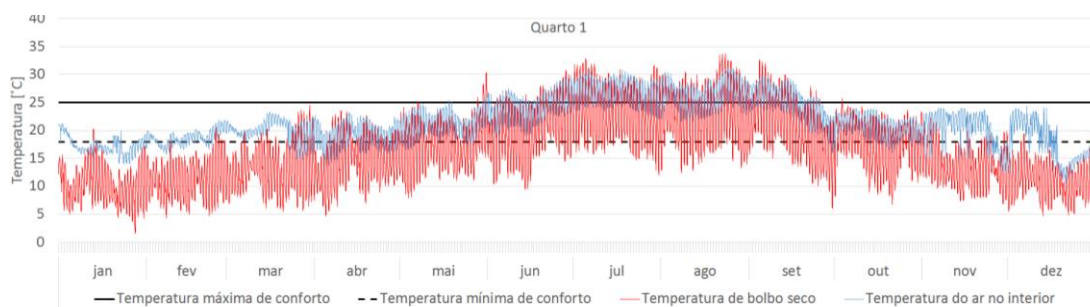


Figura 4.110 – Quarto 1: temperatura do ar no interior, temperatura de bolbo seco, temperatura máxima (25°C) e mínima (18°C) de conforto

Na Figura 4.111, apresenta-se, para todos os meses do ano, a percentagem de horas em que a temperatura (°C) no interior do compartimento se situa em diferentes intervalos de temperatura.

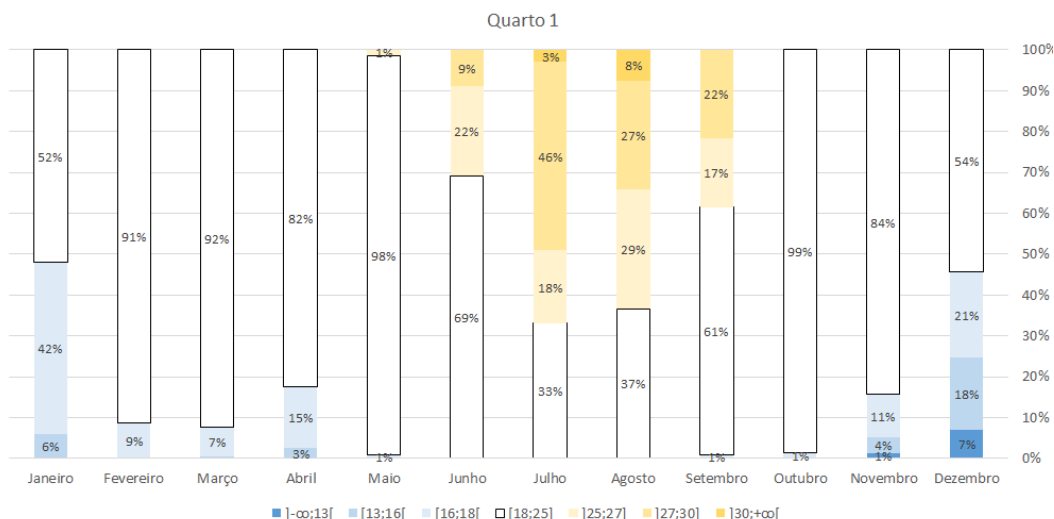


Figura 4.111 – Quarto 1: percentagem de horas em que a temperatura (°C) no interior do compartimento se situa em diferentes intervalos de temperatura, para todos os meses do ano

Da observação da Figura 4.111, verificamos que é sobretudo nos meses mais quentes, que se fazem sentir maiores afastamentos face à temperatura máxima de conforto, os 25 °C. Os meses de Julho e Agosto, são os meses mais críticos, podendo haver temperaturas superiores a 30 °C. Os meses de Novembro e Dezembro, atingem por vezes temperaturas inferiores a 13 °C. Os meses de Fevereiro, Março, Abril, Maio, Outubro e Novembro, são os que apresentam maior percentagem de horas com temperaturas dentro do intervalo de conforto; contrariamente aos meses de Julho e Agosto, onde se verifica menor percentagem de horas com temperaturas dentro do intervalo de conforto.

Comparando estes resultados relativamente aos obtidos antes da inclusão da parede trombe 3, no quarto 1, é de evidenciar um aumento da percentagem de horas com temperaturas dentro do intervalo de conforto nos meses de Janeiro, Fevereiro, e de Maio a Outubro; sendo que os meses de Maio e Junho, apresentam aumentos mais significativos.

A Figura 4.112 representa, para todo o ano, a percentagem de horas em que a temperatura (°C) no interior do compartimento se situa em diferentes intervalos de temperatura.

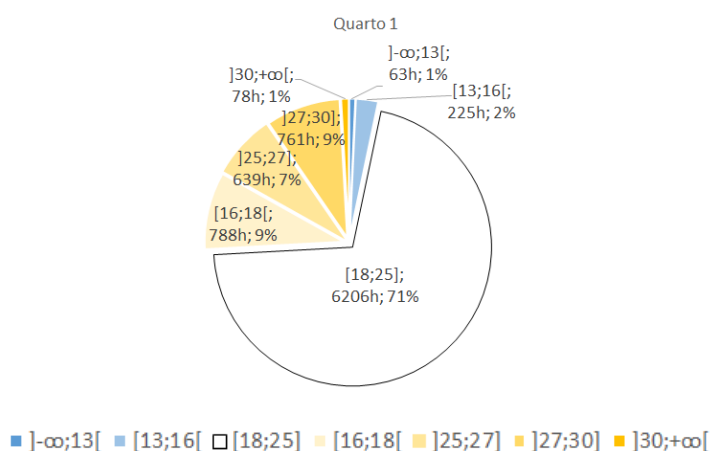


Figura 4.112 – Quarto 1: percentagem de horas em que a temperatura (°C) no interior do compartimento se situa em diferentes intervalos de temperatura, para todo o ano

Da observação da Figura 4.112, interpretamos que 71% de um total de 8760 horas, apresentam temperaturas dentro do intervalo de conforto (18 °C a 25 °C). Contudo, existem temperaturas fora do intervalo de conforto. Verificamos que 2 % das horas apresentam temperaturas compreendidos entre 13 °C a 16 °C, 1% das horas apresentam temperaturas inferiores a 13 °C, 9% das horas apresentam temperaturas compreendidas entre 16 °C e 18 °C, 7% das horas apresentam temperaturas compreendidas entre 25 °C e 27 °C, 9% das horas apresentam temperaturas compreendidas entre 27 °C e 30 °C, e 1% das horas que apresentam temperaturas superiores a 30 °C. Conclui-se então que 71 % das horas apresentam temperaturas dentro do intervalo de conforto; em contrapartida, 29% das horas apresentam temperaturas fora do intervalo de conforto.

Comparando estes resultados relativamente aos obtidos antes da inclusão da parede trombe 3 no quarto 1, é de evidenciar que anualmente houve um aumento da percentagem de horas com temperaturas dentro do intervalo de conforto.

Analisada a variação das temperaturas no interior do compartimento, procede-se à análise dos ganhos e perdas de calor do compartimento através dos diversos elementos constituintes da envolvente opaca e não opaca (vidros, paredes exteriores, tetos, pavimentos, paredes interiores, cobertura); renovações de ar na edificação (ventilação natural e infiltração); ganhos e perdas de calor do compartimento através da parede trombe (condução); ganhos de calor do compartimento devido à radiação solar que passa através do envidraçado e ganhos internos (equipamentos, ocupação e iluminação). Convém fazer referência que, devido a imposição do próprio software, os ganhos ou perdas de calor do compartimento através da parede trombe (por condução), surgem juntamente com as paredes interiores, visto que o software considera, que a parede acumuladora em betão, constitui uma parede interior. No **Anexo J (J7.1, J7.2, J7.3 e J7.4)**, consta a representação gráfica, para a estação de arrefecimento (Junho, Julho, Agosto e Setembro) e para a estação de aquecimento (Novembro, Dezembro, Janeiro e Fevereiro), do balanço térmico diurno (entre as 7:00 horas e as 19:00 horas) e do balanço térmico noturno (entre as 19:00 horas e as 7:00 horas).

No balanço térmico diurno de Verão, os maiores ganhos de calor no compartimento revelam-se através da radiação solar que atravessa os vãos envidraçados, evidenciando um valor bastante elevado comparativamente aos restantes ganhos. As maiores perdas de calor do compartimento revelam-se através das paredes interiores (inclui ganhos através da parede trombe por condução). No balanço térmico noturno de Verão os maiores ganhos de calor para o compartimento revelam-se através das paredes interiores (inclui ganhos através da parede trombe por condução), enquanto as maiores perdas revelam-se através da ventilação externa.

No balanço térmico diurno de Inverno, os maiores ganhos de calor no compartimento revelam-se através da radiação solar que atravessa os vãos envidraçados, evidenciando um valor bastante elevado comparativamente aos restantes ganhos. As maiores perdas de calor do compartimento revelam-se através das paredes interiores (inclui ganhos através da parede trombe por condução). No balanço térmico noturno de Inverno os maiores ganhos de calor do compartimento revelam-se através das paredes interiores (inclui ganhos através da parede trombe por condução), enquanto as maiores perdas revelam-se através da infiltração externa.

A Figura 4.113 apresenta os ganhos ou perdas de calor do compartimento quarto 1, através da parede trombe não ventilada 3 (por condução), para todos os meses do ano.

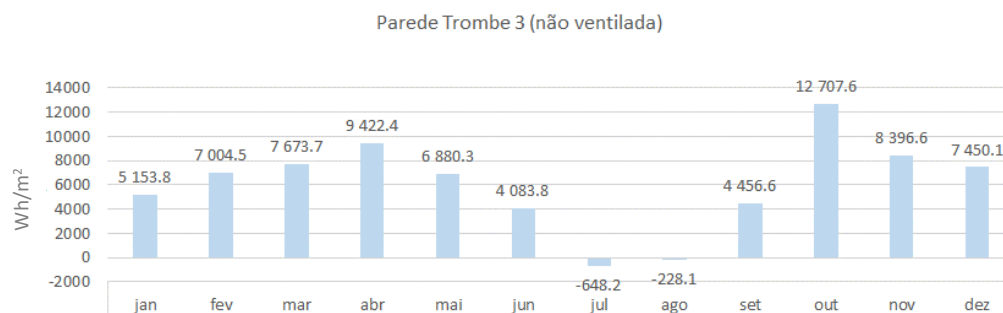


Figura 4.113 – Ganhos ou perdas de calor do compartimento quarto 1, através da parede trombe não ventilada 3 (por condução)

Pela observação da Figura 4.113, verificamos que, de Janeiro a Junho, e de Setembro a Dezembro o compartimento apresenta ganhos de valor elevado, contrariamente aos meses de Julho e Agosto, onde se verifica o oposto. Anualmente, a parede trombe 3, contribui com 72 353,0 Wh/m² de ganhos por condução para o compartimento.

Se compararmos os resultados obtidos da presente simulação (parede trombe não ventiladas 3), com os obtidos relativos à simulação anterior (parede trombe ventiladas 3), facilmente se percebe, que a parede trombe ventilada consegue maior percentagem de horas com temperaturas dentro do intervalo de conforto no interior do compartimento sobretudo no Inverno. No entanto, na Primavera e Outono estas obtêm resultados semelhantes. Já no Verão, a parede trombe não ventilada consegue maior percentagem de horas com temperaturas dentro do intervalo de conforto no interior do compartimento.

Se realizarmos uma comparação anual, relativa a percentagem de horas em que a temperatura se situa dentro do intervalo de conforto, verificamos a parede trombe ventilada 3 (73%), obtém maior percentagem de horas em que a temperatura do compartimento se situa dentro do intervalo de conforto, comparativamente à parede trombe não ventilada 3 (71%).

4.3.6. SIMULAÇÃO 6 – PAREDE TROMBE NÃO VENTILADA 4

A presente simulação aponta para a inclusão de parede trombe 4 no alçado sul, sobre platibanda do volume mais alto do edifício. Optou-se pela inclusão de parede trombe não ventilada pelo fato de esta possuir altura reduzida, impossibilitando a realização de aberturas de termocirculação de dimensões adequadas. No **Anexo I** (Simulação 6: inclusão de parede trombe 4) constam a localização em planta e alçado, e o modo de funcionamento da parede incluída nesta simulação. O modo de funcionamento desta, tem por base as estações do ano: Inverno (21 de Dezembro até 20 de Março), Verão (21 de Junho a 20 de Setembro), Primavera (21 de Março a 20 de Junho) e Outono (21 de Setembro a 20 de Dezembro).

O sistema de funcionamento da parede trombe não ventilada assemelha-se ao descrito na simulação 4. A parede acumuladora será em betão e a sua superfície será pintada de preto, com valor de coeficiente de absorção, $a=0,8$, no sentido de otimizar os ganhos durante a estação de aquecimento. No Quadro 4.8, apresenta-se o coeficiente de condutibilidade térmica, massa volúmica, calor específico do betão que constitui a parede de armazenamento.

Quadro 4.8 – Coeficiente de condutibilidade térmica, Massa Volúmica e Calor Específico do betão

Material	Coeficientes de condutibilidade térmica - λ [W/(m.°C)]	Massa Volúmica [Kg/m ³]	Calor Específico [J/kg.K]
Betão	2,00	2400	1000

Assumiu-se a existência de proteções exteriores em estore de enrolar de plástico com preenchimento de espuma, de cor branca, com um coeficiente de absorção α , igual a 0,4 e resistência térmica de 0,17 ($\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$). Considerou-se para a caixa de ar uma espessura igual a 10 cm, o que equivale a uma resistência térmica da camada de ar de 0,15 ($\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$). Para a presente simulação, à semelhança do explicado anteriormente na simulação 4.2, a espessura considerada para o elemento de armazenamento em betão é de 0,20 m. Relativamente ao envidraçado, este é constituído por 2 panos de vidro de 6mm e caixa-de-ar de 13 mm entre estes. O envidraçado apresenta coeficiente de transmissão térmica de valor igual a 2,785 $\text{W}/\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$, fator solar de 0,497 e coeficiente de transmissão luminosa de 0,505. O Quadro 4.9, apresenta a caracterização construtiva da parede trombe não ventilada 4, que se incluirá na presente simulação.

Quadro 4.9 – Caracterização construtiva da parede trombe não ventilada 4.

Elemento	Dimensão [m x m]	Constituição	Espessura [m]
Parede Trombe Não Ventilada 4	8,30 x 0,50	Parede acumuladora em betão 4	0,20
		Caixa-de-ar 4	0,10
		Vidro duplo 4 (6+13+6)	0,025

Após termos caracterizado a parede trombe não ventilada 4, iremos analisar a evolução da temperatura nas superfícies (interior e exterior) da parede acumuladora, para os dias 27 de Janeiro e 23 de Agosto. Contudo, convém referir que, de modo a obter a contribuição da parede trombe 4 para os espaços onde esta atua, foi necessário efetuar a divisão desta em correspondência com cada compartimento. Portanto, para o Quarto 1, a parede trombe terá 3,00 m x 0,50 m; para a instalação sanitária (quarto 1), a parede trombe terá 2,60 m x 0,50 m; e para o hall de entrada, a parede trombe terá 2,70 m x 0,50 m. Contudo, o compartimento hall de entrada não será alvo de análise. Todavia é de referir, que apenas se apresentará a evolução da temperatura das superfícies exterior e interior da parede acumuladora em betão anexa a um dos compartimentos, neste caso o quarto 1.

As Figuras 4.114 e 4.115, apresentam a evolução das temperaturas da superfície exterior e interior da parede acumuladora em betão, anexa ao quarto 1, ao longo dos dias 27 de Janeiro e 23 de Agosto respetivamente.

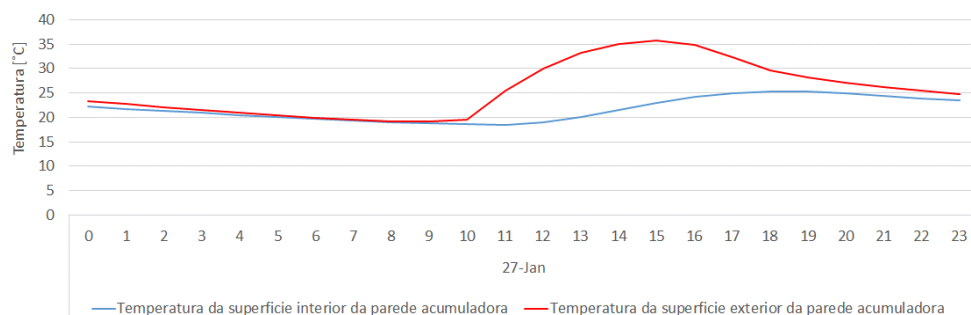


Figura 4.114 – Temperatura da superfície exterior e interior da parede acumuladora em betão (anexa ao quarto 1), para o dia 27 de Janeiro

Pela observação da Figura 4.114, verificamos que, no dia 27 de Janeiro, entre 00:00 h e as 10:00 h, as superfícies interior e exterior da parede acumuladora em betão apresentam temperaturas semelhantes. Contudo, a partir das 10:00 h a superfície exterior da parede acumuladora em betão começa a apresentar um aumento de temperatura significativo, chegando mesmo a atingir uma temperatura de 35,71 °C às 15:00 h. No entanto, este aumento de temperatura da superfície exterior da parede acumuladora, começa a manifestar-se na superfície interior da mesma, ainda que de modo mais lento, apresentando às 18:00 h uma temperatura máxima de 25,35 °C.

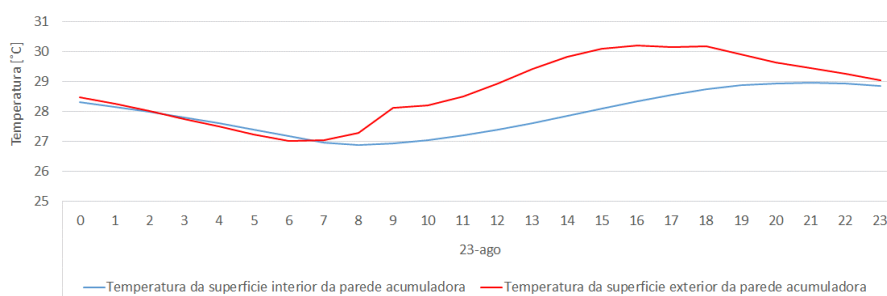
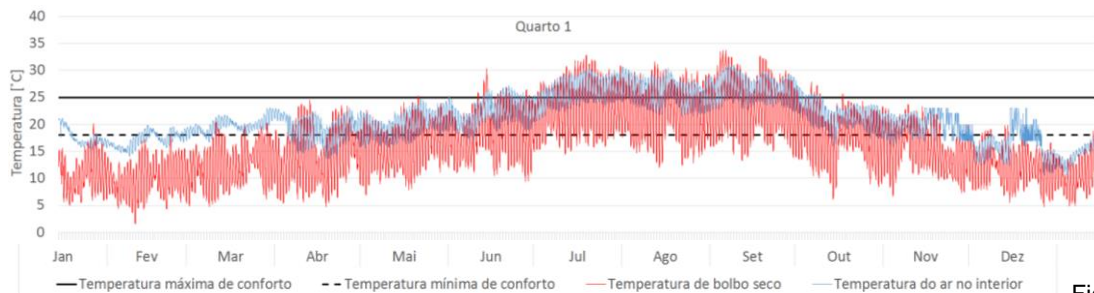


Figura 4.115 – Temperatura da superfície exterior e interior da parede acumuladora em betão (anexa ao quarto 1), para o dia 23 de Agosto

Pela observação da Figura 4.115, verificamos que, no dia 23 de Agosto as superfícies interior e exterior da parede acumuladora em betão apresentam temperaturas muito similares entre as 00:00h e as 07:00h; contudo, a partir das 07:00h, a parede acumuladora apresenta diferenças mais acentuadas de temperatura, na ordem dos 2 °C. Entre as 02:00 h e as 07:00 h a temperatura da superfície exterior da parede em betão é inferior à da superfície interior. Contudo, a partir das 07:00 h acontece o contrário, ou seja, a temperatura da superfície interior da parede em betão é inferior à da superfície exterior, explicando assim o sentido dos fluxos de calor na parede. Verificamos que as temperaturas máxima e mínima da superfície exterior da parede acumuladora são 30,18 °C e 27,01 °C respetivamente; sendo que na superfície interior da parede acumuladora, as temperaturas máximas e mínimas são mais reduzidas, sendo de 28,96 °C e 26,87 °C, respetivamente.

Após termos observado a evolução da temperatura na superfície da parede acumuladora (anexa ao quarto 1), procedemos à análise dos resultados obtidos relativamente ao conforto. Pretende-se, deste modo, avaliar o efeito que a parede trombe não ventilada 4 manifesta no Quarto 1 e na instalação sanitária (quarto 1).

A figura 4.116, refere-se ao compartimento do **Quarto 1**. Aqui é possível observar que as temperaturas no interior do quarto 1 oscilam entre os 10,598 °C (20 de Dezembro, 7:00h) e os 31,137 °C (24 de Agosto, 10:00 h).



Figura

4.116 – Quarto 1: temperatura do ar no interior, temperatura de bolbo seco, temperatura máxima (25°C) e mínima (18°C) de conforto

Na Figura 4.117, apresenta-se, para todos os meses do ano, a percentagem de horas em que a temperatura (°C) no interior do compartimento se situa em diferentes intervalos de temperatura.

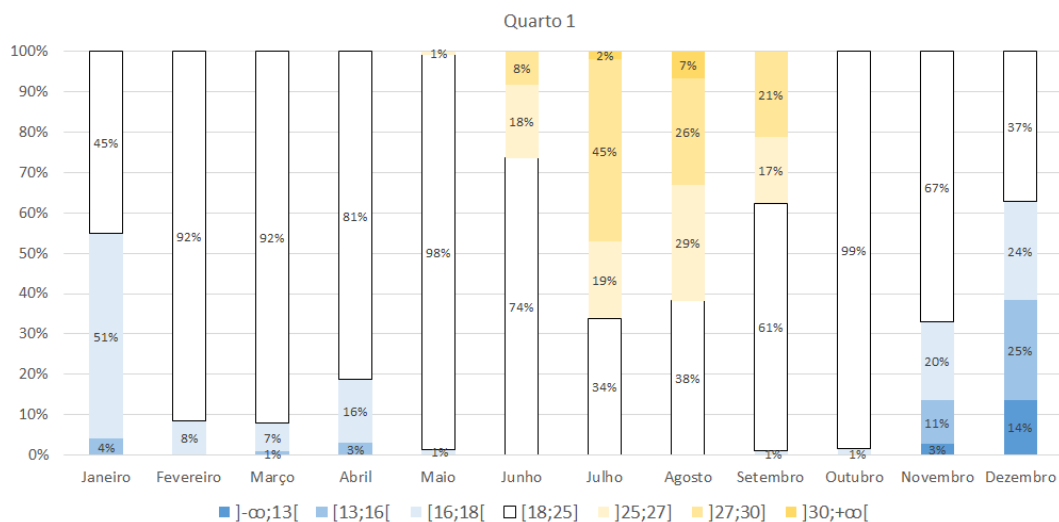


Figura 4.117 – Quarto 1: percentagem de horas em que a temperatura (°C) no interior do compartimento se situa em diferentes intervalos de temperatura, para todos os meses do ano

Da observação da Figura 4.117, verificamos que é sobretudo nos meses mais quentes, que se fazem sentir maiores afastamentos face à temperatura máxima de conforto, os 25 °C. Os meses de Julho e Agosto, são os meses mais críticos, podendo haver temperaturas superiores a 30 °C. Os meses de Novembro e Dezembro, atingem por vezes temperaturas inferiores a 13 °C. Os meses de Fevereiro, Março, Abril, Maio e Outubro, são os que apresentam maior percentagem de horas com temperaturas dentro do intervalo de conforto; contrariamente aos meses de Janeiro, Julho, Agosto e Dezembro, onde se verifica menor percentagem de horas com temperaturas dentro do intervalo de conforto.

Comparando estes resultados relativamente aos obtidos antes da inclusão da parede trombe 4, no quarto 1, é de evidenciar um aumento da percentagem de horas com temperaturas dentro do intervalo de conforto nos meses de Janeiro a Março, e de Maio a Outubro; sendo que os meses de Maio e Junho, apresentam aumentos mais significativos. Contudo, Abril, Novembro e Dezembro apresenta uma redução da percentagem de horas com temperaturas dentro do intervalo de conforto, comparativamente aos resultados antes da inclusão da parede trombe 4.

A Figura 4.118 representa, para todo o ano, a percentagem de horas em que a temperatura (°C) no interior do compartimento se situa em diferentes intervalos de temperatura.

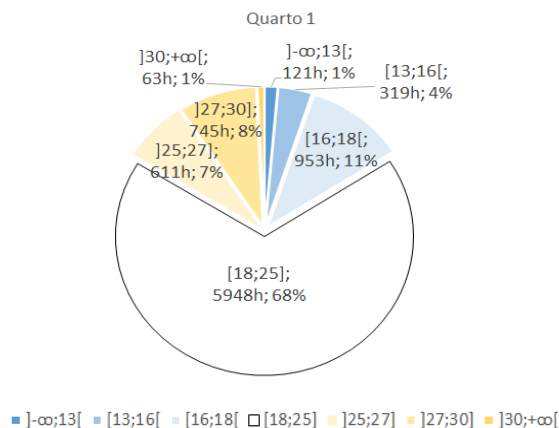


Figura 4.118 – Quarto 1: percentagem de horas em que a temperatura (°C) no interior do compartimento se situa em diferentes intervalos de temperatura, para todo o ano

Da observação da Figura 4.118, interpretamos que 68% de um total de 8760 horas, apresentam temperaturas dentro do intervalo de conforto (18 °C a 25 °C). Contudo, existem temperaturas fora do intervalo de conforto. Verificamos que 11 % das horas apresentam temperaturas compreendidos entre 16 °C a 18 °C, 4 % das horas apresentam temperaturas compreendidos entre 13 °C a 16 °C, 1% das horas apresentam temperaturas inferiores a 13 °C, 7% das horas apresentam temperaturas compreendidas entre 25 °C e 27 °C, 8% das horas apresentam temperaturas compreendidas entre 27 °C e 30 °C, e 1% das horas que apresentam temperaturas superiores a 30 °C. Conclui-se então que 68 % das horas apresentam temperaturas dentro do intervalo de conforto; em contrapartida, 32% das horas apresentam temperaturas fora do intervalo de conforto.

Comparando estes resultados relativamente aos obtidos antes da inclusão da parede trombe 4 no quarto 1, é de evidenciar que anualmente houve um aumento da percentagem de horas com temperaturas dentro do intervalo de conforto.

Analisada a variação das temperaturas no interior do compartimento, procede-se à análise dos ganhos e perdas de calor do compartimento através dos diversos elementos constituintes da envolvente opaca e não opaca (vidros, paredes exteriores, tetos, pavimentos, paredes interiores, cobertura); renovações de ar na edificação (ventilação natural e infiltração); ganhos e perdas de calor da parede trombe (condução); ganhos de calor devido à radiação solar que passa através do envidraçado e ganhos internos (equipamentos, ocupação e iluminação). Convém fazer referência que, devido a imposição do próprio software, os ganhos ou perdas de calor do compartimento através da parede trombe (por condução), surgem juntamente com as paredes interiores, visto que o software considera, que a parede acumuladora em betão, constitui uma parede interior. No **Anexo J (J8.1, J8.2, J8.3 e J8.4)**, consta a representação gráfica, para a estação de arrefecimento (Junho, Julho, Agosto e Setembro) e para a estação de aquecimento (Novembro, Dezembro, Janeiro e Fevereiro), do balanço térmico diurno (entre as 7:00 horas e as 19:00 horas) e do balanço térmico noturno (entre as 19:00 horas e as 7:00 horas).

No balanço térmico diurno de Verão, os maiores ganhos de calor no compartimento revelam-se através da radiação solar que atravessa os vãos envidraçados, evidenciando um valor bastante elevado comparativamente aos restantes ganhos. As maiores perdas de calor do compartimento revelam-se através das paredes interiores (inclui ganhos através parede trombe por condução). No balanço térmico noturno de Verão os maiores ganhos de calor para o compartimento revelam-se através das paredes

interiores (inclui ganhos através da parede trombe por condução), enquanto as maiores perdas revelam-se através da ventilação externa.

No balanço térmico diurno de Inverno, os maiores ganhos de calor no compartimento revelam-se através da radiação solar que atravessa os vãos envidraçados, evidenciando um valor bastante elevado comparativamente aos restantes ganhos. As maiores perdas de calor do compartimento revelam-se através das paredes interiores (inclui ganhos através da parede trombe por condução) e infiltração externa. No balanço térmico noturno de Inverno os maiores ganhos de calor do compartimento revelam-se através das paredes interiores (inclui ganhos através da parede trombe por condução), enquanto as maiores perdas revelam-se através da infiltração externa.

A Figura 4.119 apresenta os ganhos ou perdas de calor do compartimento quarto 1, através parede trombe não ventilada 4 (por condução), para todos os meses do ano.

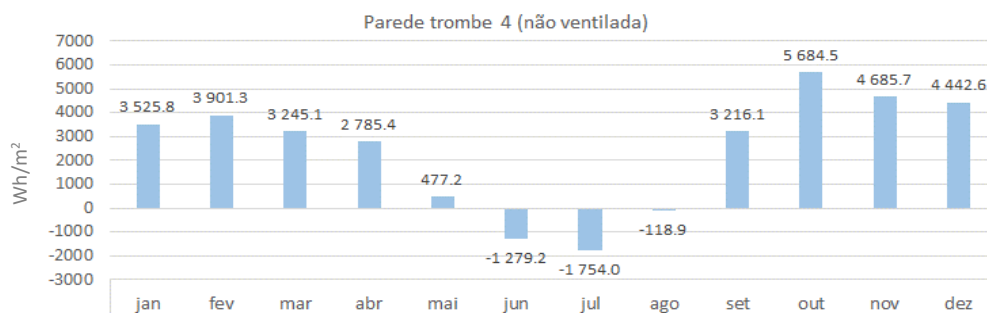


Figura 4.119 – Ganhos ou perdas de calor do compartimento quarto 1, através da parede trombe não ventilada 4 (por condução)

Pela observação da Figura 4.119, verificamos que, de Janeiro a Abril, e de Setembro a Dezembro o compartimento apresenta ganhos de valor elevado, contrariamente aos meses de Maio a Agosto, onde se verificam ganhos reduzidos e perdas consideráveis. Anualmente, a parede trombe 4, contribui com 28 811,6 Wh/m² de ganhos de calor para o compartimento.

A Figura 4.120, refere-se ao compartimento da **instalação sanitária (quarto 1)**. Aqui é possível observar que as temperaturas no interior da instalação sanitária (quarto 1) oscilam entre os 10,79 °C (20 de Dezembro, 7:00h) e os 28,51 °C (24 de Agosto, 18:00 h).

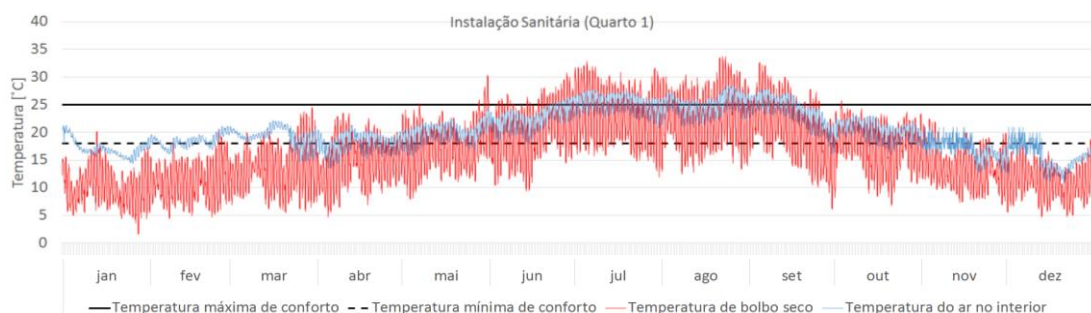


Figura 4.120 – Instalação Sanitária (Quarto 1): temperatura do ar no interior, temperatura de bolbo seco, temperatura máxima (25°C) e mínima (18°C) de conforto

Na Figura 4.121, apresenta-se, para todos os meses do ano, a percentagem de horas em que a temperatura (°C) no interior do compartimento se situa em diferentes intervalos de temperatura.

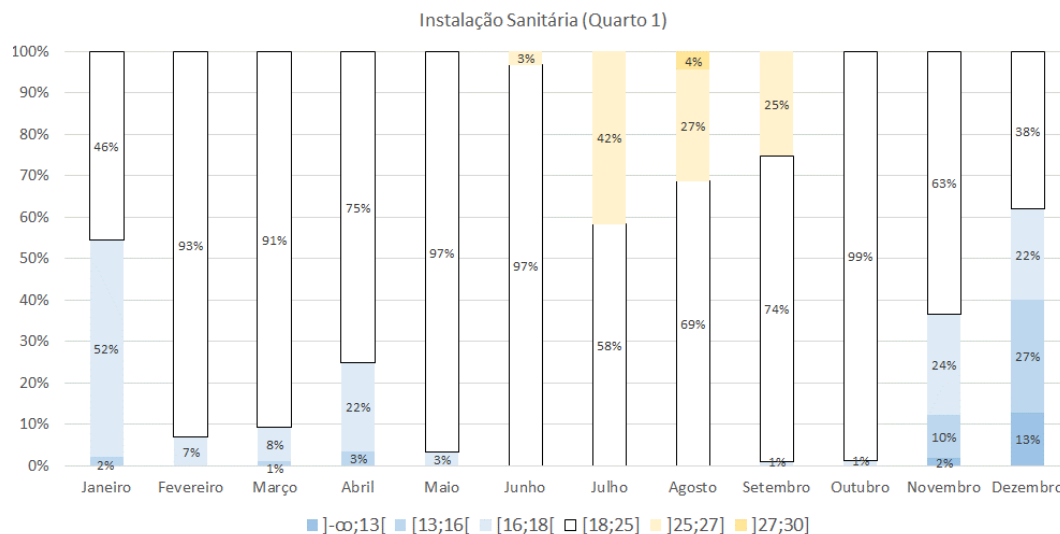


Figura 4.121 – Instalação Sanitária (Quarto 1): percentagem de horas em que a temperatura ($^{\circ}\text{C}$) no interior do compartimento se situa em diferentes intervalos de temperatura, para todos os meses do ano

Da observação da Figura 4.121, verificamos que é sobretudo nos meses mais quentes, que se fazem sentir maiores afastamentos face à temperatura máxima de conforto, os 25°C . O mês de Agosto, é o mês mais crítico, podendo haver temperaturas compreendidas entre os 18°C e 30°C . Os meses de Novembro, Dezembro atingem por vezes temperaturas inferiores a 13°C . Os meses de Fevereiro, Março, Maio, Junho e Outubro, são os que apresentam maior percentagem de horas com temperaturas dentro do intervalo de conforto; contrariamente aos meses de Janeiro, Julho e Dezembro, onde se verifica menor percentagem de horas com temperaturas dentro do intervalo de conforto.

Comparando estes resultados relativamente aos obtidos antes da inclusão da parede trombe 4, na instalação sanitária (quarto 1), é de evidenciar um aumento da percentagem de horas com temperaturas dentro do intervalo de conforto nos meses de Janeiro, de Junho a Setembro; sendo que os meses de Junho a Setembro, apresentam aumentos mais significativos.

A Figura 4.122 representa, para todo o ano, a percentagem de horas em que a temperatura ($^{\circ}\text{C}$) no interior do compartimento se situa em diferentes intervalos de temperatura.

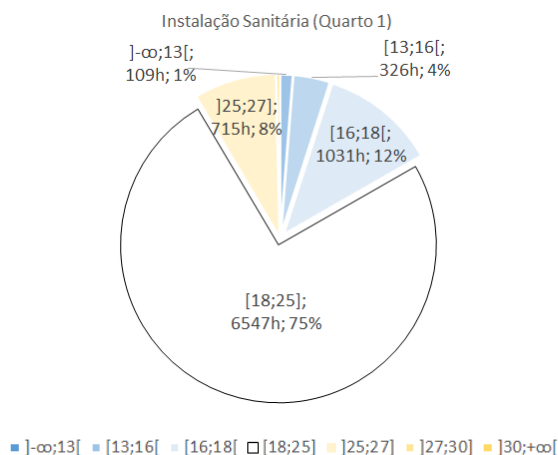


Figura 4.122 – Instalação Sanitária (Quarto 1): percentagem de horas em que a temperatura ($^{\circ}\text{C}$) no interior do compartimento se situa em diferentes intervalos de temperatura, para todo o ano

Da observação da Figura 4.122, interpretamos que 75% de um total de 8760 horas, apresentam temperaturas dentro do intervalo de conforto (18 °C a 25 °C). Contudo, existem temperaturas fora do intervalo de conforto. Verificamos que 12 % das horas apresentam temperaturas compreendidos entre 16 °C a 18 °C, 4 % das horas apresentam temperaturas compreendidos entre 13 °C a 16 °C, 1% das horas apresentam temperaturas inferiores a 13 °C, 8% das horas apresentam temperaturas compreendidas entre 25 °C e 27 °C. Conclui-se então que 75 % das horas apresentam temperaturas dentro do intervalo de conforto; em contrapartida, 25% das horas apresentam temperaturas fora do intervalo de conforto.

Comparando estes resultados relativamente aos obtidos antes da inclusão da parede trombe 4 no quarto 1, é de evidenciar que anualmente houve uma redução da percentagem de horas com temperaturas dentro do intervalo de conforto.

Analizada a variação das temperaturas no interior do compartimento, procede-se à análise dos ganhos e perdas de calor do compartimento através dos diversos elementos constituintes da envolvente opaca e não opaca (vidros, paredes exteriores, tetos, pavimentos, paredes interiores, cobertura); renovações de ar na edificação (ventilação natural e infiltração); ganhos e perdas de calor do compartimento através da parede trombe (condução); ganhos de calor do compartimento devido à radiação solar que passa através do envidraçado e ganhos internos (equipamentos, ocupação e iluminação). Convém fazer referência que, devido a imposição do próprio software, os ganhos ou perdas de calor do compartimento através da parede trombe (por condução), surgem juntamente com as paredes interiores, visto que o software considera, que a parede acumuladora em betão, constitui uma parede interior. No **Anexo J (J8.5, J8.6, J8.7 e J8.8)**, consta a representação gráfica, para a estação de arrefecimento (Junho, Julho, Agosto e Setembro) e para a estação de aquecimento (Novembro, Dezembro, Janeiro e Fevereiro), do balanço térmico diurno (entre as 7:00 horas e as 19:00 horas) e do balanço térmico noturno (entre as 19:00 horas e as 7:00 horas).

No balanço térmico diurno de Verão, os maiores ganhos de calor no compartimento revelam-se através das paredes interiores (inclui ganhos através da parede trombe por condução), evidenciando um valor bastante elevado comparativamente aos restantes ganhos. As maiores perdas de calor do compartimento revelam-se através da ventilação externa e dos pavimentos térreos. No balanço térmico noturno de Verão os maiores ganhos de calor para o compartimento revelam-se através das paredes interiores (inclui ganhos através da parede trombe por condução), enquanto as maiores perdas revelam-se através da ventilação externa.

No balanço térmico diurno de Inverno, ganhos de calor no compartimento revelam-se através das paredes interiores (inclui ganhos através da parede trombe), evidenciando um valor bastante elevado comparativamente aos restantes ganhos. As maiores perdas de calor do compartimento revelam-se através da infiltração externa. No balanço térmico noturno de Inverno os maiores ganhos de calor do compartimento revelam-se através das paredes interiores (inclui ganhos através da parede trombe por condução), enquanto as maiores perdas revelam-se através da infiltração externa.

A Figura 4.123 apresenta os ganhos ou perdas de calor do compartimento instalação sanitária (quarto1), através da parede trombe não ventilada 4 (por condução), para todos os meses do ano.

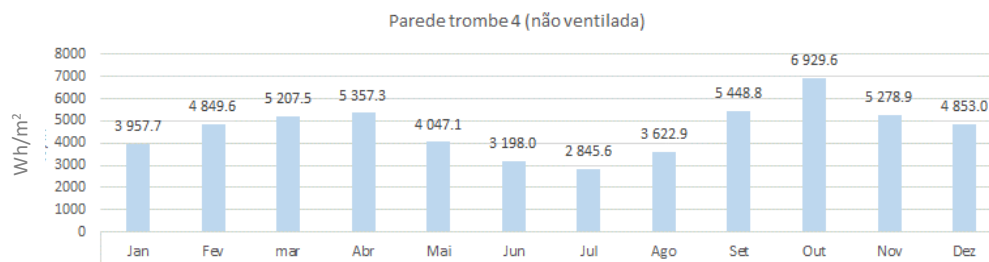


Figura 4.123 – Ganhos ou perdas de calor do compartimento instalação sanitária (quarto 1), através da parede trombe não ventilada 4 (por condução)

Pela observação da Figura 4.123, verificamos que, de Janeiro a Maio, e de Setembro a Dezembro o compartimento apresenta ganhos de valor elevado; contudo, apesar da parede ter um horário de funcionamento que procura bloquear os ganhos solares no Verão (parede trombe com encerramento da proteção solar no Verão - 21 de Junho a 20 de Setembro); nos meses de Junho, Julho e Agosto, o compartimento apresenta alguns ganhos significativos. Isto explica-se pelo fato da instalação sanitária possuir temperaturas bastante mais reduzidas que a própria parede acumuladora, originando deste modo fluxos de calor para o interior do compartimento. Anualmente, a parede trombe 4, contribui com 55 596,1 W/m² de ganhos de calor para o compartimento.

4.3.7. SIMULAÇÃO 7

A presente simulação consiste na inclusão das estratégias mais favoráveis, por forma a adquirir maior conforto no interior do edifício, ou seja, temperaturas no interior entre os 18°C e 25°C. O critério de seleção das melhores estratégias, consistiu em considerar aquelas que, apresentassem maior percentagem de horas em que a temperatura no interior do compartimento se situasse dentro do intervalo de conforto. Assim sendo, as estratégias que foram consideradas para a presente simulação foram:

- Simulação 2: alteração dos vãos envidraçados;
- Simulação 3: inclusão de elementos de proteção solar (palas horizontais) sobre fachada sul da sala de estar/jantar e cozinha;
- Simulação 4.1: inclusão de paredes trombe ventiladas 1e 2 em fachada Sul do compartimento sala de estar/jantar;
- Simulação 5.1: inclusão de parede trombe ventilada 3 em fachada sul do compartimento quarto 1.

Numa primeira fase procedeu-se à simulação do edifício sem qualquer sistema de aquecimento e arrefecimento implementado (simulação 7.1) permitindo observar o comportamento térmico do edifício na ausência de sistemas ativos. Posteriormente implementaram-se os sistemas ativos, considerando aquecimento com recurso a gás natural e arrefecimento com recurso a eletricidade (simulação 7.2), permitindo obter, de modo global do edifício, as necessidades energéticas da climatização inerente às condições térmicas definidas. Expostos os objetivos, nos subcapítulos 4.3.7.1 e 4.3.7.2, são apresentadas as simulações 7.1 e 7.2 respetivamente.

4.3.7.1. SIMULAÇÃO 7.1 – EDIFÍCIO COM MELHORES ESTRATÉGIAS E SEM SISTEMAS ATIVOS

A presente simulação visa mostrar o edifício após inclusão das melhores estratégias solares passivas, sem recurso a sistemas ativos de aquecimento e arrefecimento, ou seja, o edifício passivo. Nas figuras que se seguem, estão representados os resultados das simulações efetuadas, respetivas aos compartimentos já enunciados anteriormente (sala de estar/jantar, cozinha, quarto 1, instalações sanitárias do quarto 1 e da zona de entrada) e a nível global do edifício.

A Figura 4.124, refere-se ao compartimento da **sala de estar/jantar**. Aqui é possível observar que as temperaturas no interior da sala de estar/jantar oscilam entre os 13,99 °C (25 de Janeiro, 7:00h) e os 30,88 °C (5 de Setembro, 15:00 h).

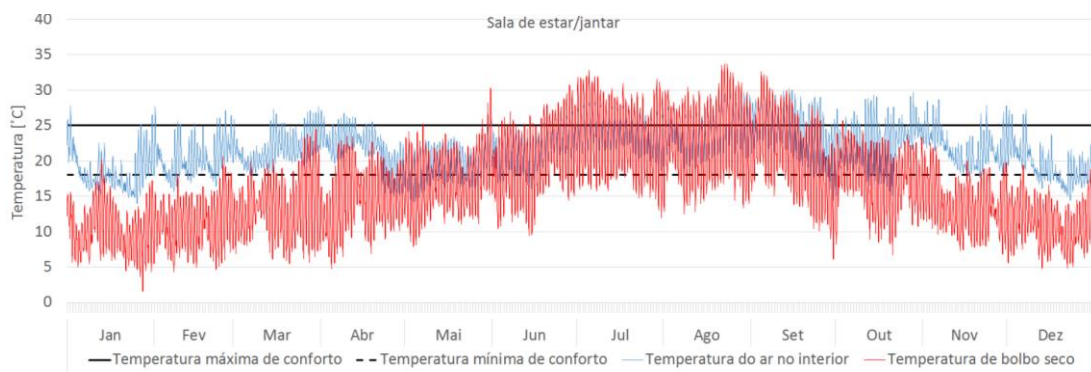


Figura 4.124 – Sala de estar/jantar: temperatura do ar no interior, temperatura de bolbo seco, temperatura máxima (25°C) e mínima (18°C) de conforto

Na figura 4.125, apresenta-se, para todos os meses do ano, a percentagem de horas em que a temperatura (°C) no interior do compartimento se situa em diferentes intervalos de temperatura.

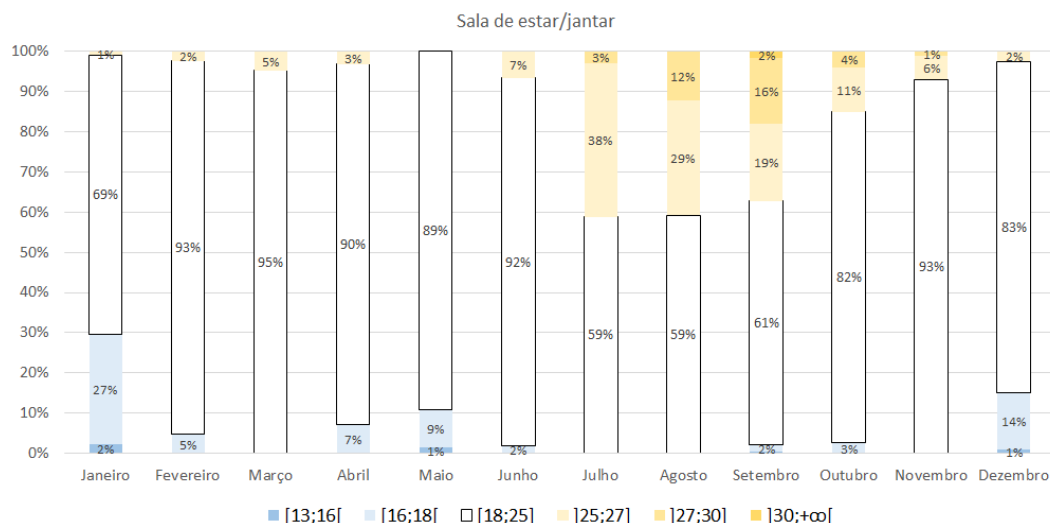


Figura 4.125 – Sala de estar/jantar: percentagem de horas em que a temperatura (°C) no interior do compartimento se situa em diferentes intervalos de temperatura, para todos os meses do ano

Da observação da Figura 4.125, verificamos que é sobretudo nos meses mais quentes, que se fazem sentir maiores afastamentos face à temperatura máxima de conforto, os 25 °C. Os meses de Julho, Agosto e Setembro, são os meses mais críticos, podendo apresentar temperaturas compreendidas entre

18 °C e 30 °C, sendo que Setembro poderá mesmo apresentar temperaturas superiores a 30 °C. Os meses mais frios, não apresentam diferenças tão acentuadas face à temperatura mínima de conforto; contudo os meses de Janeiro e Dezembro apresentam temperaturas compreendidas entre os 13 °C e 18 °C. Os meses de Fevereiro, Março, Abril, Maio, Junho, Outubro, Novembro e Dezembro são os que apresentam maior percentagem de horas com temperaturas dentro do intervalo de conforto; contrariamente aos meses de Julho, Agosto e Setembro, onde se verifica menor percentagem de horas com temperaturas dentro do intervalo de conforto.

Comparando estes resultados relativamente aos obtidos antes da alteração do tipo de vão envidraçado na sala de estar/jantar, da inclusão das paredes trombe ventiladas 1 e 2 e da pala de sombreamento, no mesmo compartimento, é de evidenciar um aumento da percentagem de horas com temperaturas dentro do intervalo de conforto, de Janeiro a Novembro, sendo que os meses de Julho a Outubro, apresentam aumentos mais significativos. Contudo, o mês de Dezembro manteve percentagem de horas com temperaturas dentro do intervalo de conforto.

A Figura 4.126 representa, para todo o ano, a percentagem de horas em que a temperatura (°C) no interior do compartimento se situa em diferentes intervalos de temperatura.

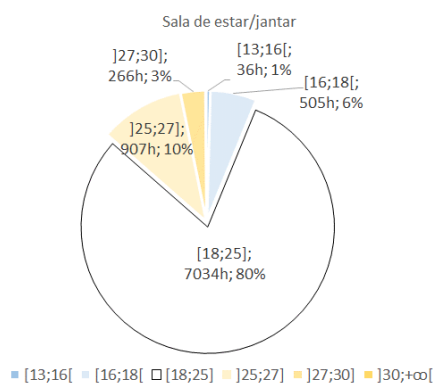


Figura 4.126 – Sala de estar/jantar: percentagem de horas em que a temperatura (°C) no interior do compartimento se situa em diferentes intervalos de temperatura, para todo o ano

Da observação da Figura 4.126, interpretamos que 80% de um total de 8760 horas, apresentam temperaturas dentro do intervalo de conforto (18 °C a 25 °C). Contudo, existem temperaturas fora do intervalo de conforto. Verificamos que 6 % das horas apresentam temperaturas compreendidos entre 16 °C a 18 °C, 1% das horas apresentam temperaturas compreendidas entre 13 °C e 16 °C, 10% das horas apresentam temperaturas compreendidas entre 25 °C e 27 °C, e 3% das horas que apresentam temperaturas compreendidas entre 27 °C e 30 °C. Conclui-se então que 80 % das horas apresentam temperaturas dentro do intervalo de conforto; em contrapartida, 20% das horas apresentam temperaturas fora do intervalo de conforto.

Comparando estes relativamente aos obtidos antes da alteração do tipo de vão envidraçado na sala de estar/jantar, da inclusão das paredes trombe ventiladas 1 e 2 e da pala de sombreamento no mesmo compartimento, é de evidenciar que anualmente houve um aumento da percentagem de horas com temperaturas dentro do intervalo de conforto.

Analisada a variação das temperaturas no interior do compartimento, procede-se à análise dos ganhos e perdas de calor do compartimento através dos diversos elementos constituintes da envolvente opaca e não opaca (vidros, paredes exteriores, tetos, pavimentos, paredes interiores, cobertura); renovações de ar na edificação (ventilação natural e infiltração); ganhos e perdas de calor do compartimento através das paredes trombe (condução e convecção); ganhos de calor devido à radiação solar que passa através do envidraçado e ganhos internos (equipamentos, ocupação e iluminação). Convém fazer referência que, devido a imposição do próprio software, os ganhos ou perdas de calor do compartimento através das paredes trombe (por condução), surgem juntamente com as paredes interiores, visto que o software considera, que a parede acumuladora em betão, constitui uma parede interior. No entanto, os ganhos ou perdas de calor do compartimento através das paredes trombe (por convecção), surgem de modo isolado no balanço térmico. No **Anexo J (J9.1, J9.2, J9.3 e J9.4)**, consta a representação gráfica, para a estação de arrefecimento (Junho, Julho, Agosto e Setembro) e para a estação de aquecimento (Novembro, Dezembro, Janeiro e Fevereiro), do balanço térmico diurno (entre as 7:00 horas e as 19:00 horas) e do balanço térmico noturno (entre as 19:00 horas e as 7:00 horas).

No balanço térmico diurno de Verão, os maiores ganhos de calor no compartimento revelam-se através da radiação solar que atravessa os vãos envidraçados ($38\,780,3\text{ Wh/m}^2$), evidenciando um valor bastante elevado comparativamente aos restantes ganhos. As maiores perdas de calor do compartimento revelam-se através dos pavimentos térreos e às paredes exteriores. No balanço térmico noturno de Verão os maiores ganhos de calor para o compartimento revelam-se através das paredes interiores (inclui ganhos através das paredes trombe por condução). As maiores perdas de calor do compartimento revelam-se através da ventilação externa, tendo as perdas de calor do compartimento através dos vidros e infiltração externa valores bastantes significativos.

No balanço térmico diurno de Inverno, os maiores ganhos de calor no compartimento revelam-se através da radiação solar que atravessa os vãos envidraçados ($54\,316,7\text{ Wh/m}^2$), evidenciando um valor bastante elevado comparativamente aos restantes ganhos. As maiores perdas de calor do compartimento revelam-se através dos pavimentos térreos, infiltração externa, coberturas e paredes exteriores. No balanço térmico noturno de Inverno os maiores ganhos de calor do compartimento revelam-se através das paredes interiores (inclui ganhos através das paredes trombe por condução) e pavimentos térreos, enquanto as maiores perdas revelam-se através dos vidros e infiltração externa.

Comparando os resultados relativos aos ganhos de calor do compartimento através da radiação solar que atravessa os vãos envidraçados, aos obtidos antes da inclusão das melhores estratégias na moradia (inclusão de paredes trombe, inclusão de palas de sombreamento e alteração dos vãos envidraçados), é de evidenciar na sala de estar/jantar, uma redução (em cerca de 10,22%) no Inverno, sendo que no Verão esta redução também acontece (em cerca de 36,16%).

A Figura 4.127, refere-se ao compartimento da **cozinha**. Aqui é possível observar que as temperaturas no interior da cozinha oscilam entre os $13,33\text{ }^{\circ}\text{C}$ (25 de Janeiro, 07:00 h) e os $30,03\text{ }^{\circ}\text{C}$ (24 de Agosto, 17:00h).

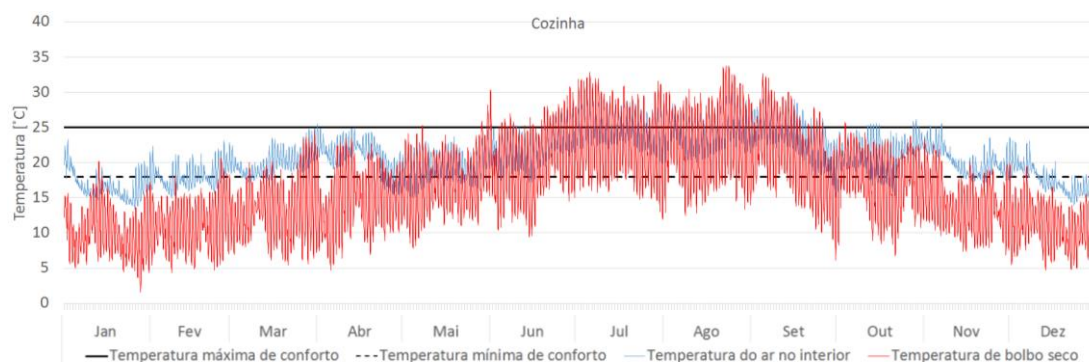


Figura 4.127 – Cozinha: temperatura do ar no interior, temperatura de bolbo seco, temperatura máxima (25°C) e mínima (18°C) de conforto

Na Figura 4.128, apresenta-se, para todos os meses do ano, a percentagem de horas em que a temperatura (°C) no interior do compartimento se situa em diferentes intervalos de temperatura.

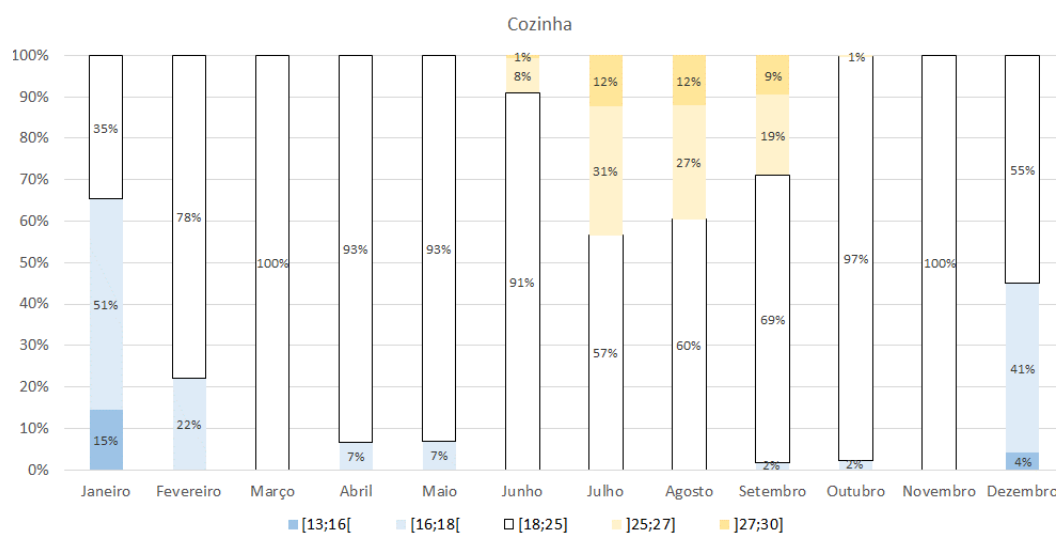


Figura 4.128 – Cozinha: percentagem de horas em que a temperatura (°C) no interior do compartimento se situa em diferentes intervalos de temperatura, para todos os meses do ano

Da observação da Figura 4.128, verificamos que é sobretudo nos meses mais quentes, que se fazem sentir maiores afastamentos face à temperatura máxima de conforto, os 25 °C. Os meses de Julho, Agosto e Setembro, são os meses mais críticos, podendo apresentar temperaturas compreendidas entre 18 °C e 30 °C. Os meses mais frios, também apresentam diferenças acentuadas face à temperatura mínima de conforto; sendo que os meses de Janeiro e Dezembro apresentam temperaturas compreendidas entre os 13 °C e 18 °C. Os meses de Fevereiro, Março, Abril, Maio, Junho, Outubro e Novembro são os que apresentam maior percentagem de horas com temperaturas dentro do intervalo de conforto; contrariamente aos meses de Janeiro, Julho, Agosto, Setembro e Dezembro, onde se verifica menor percentagem de horas com temperaturas dentro do intervalo de conforto.

Comparando estes resultados relativamente aos obtidos antes da alteração do tipo de vão envidraçado na cozinha, e da inclusão da pala de sombreamento no mesmo compartimento, é de evidenciar um aumento da percentagem de horas com temperaturas dentro do intervalo de conforto, nos meses de Fevereiro, de Março, de Maio a Dezembro, sendo que os meses de Junho a Outubro, apresentam

aumentos mais significativos. Contudo, o mês de Janeiro e de Abril, apresentam uma redução da percentagem de horas com temperaturas dentro do intervalo de conforto.

A Figura 4.129 representa, para todo o ano, a percentagem de horas em que a temperatura (°C) no interior do compartimento se situa em diferentes intervalos de temperatura.

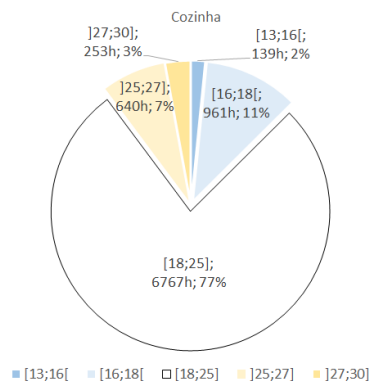


Figura 4.129 – Cozinha: percentagem de horas em que a temperatura (°C) no interior do compartimento se situa em diferentes intervalos de temperatura, para todo o ano

Da observação da Figura 4.129, interpretamos que 77% de um total de 8760 horas, apresentam temperaturas dentro do intervalo de conforto (18 °C a 25 °C). Contudo, existem temperaturas fora do intervalo de conforto. Verificamos que 11 % das horas apresentam temperaturas compreendidos entre 16 °C a 18 °C, 2% das horas apresentam temperaturas compreendidas entre 13 °C e 16 °C, 7% das horas apresentam temperaturas compreendidas entre 25 °C e 27 °C, e 3% das horas que apresentam temperaturas compreendidas entre 27 °C e 30 °C. Conclui-se então que 77 % das horas apresentam temperaturas dentro do intervalo de conforto; em contrapartida, 23% das horas apresentam temperaturas fora do intervalo de conforto.

Comparando estes resultados relativamente aos obtidos antes da alteração do tipo de vão envidraçado na cozinha, e inclusão da pala de sombreamento no mesmo compartimento, é de evidenciar que anualmente houve um aumento da percentagem de horas com temperaturas dentro do intervalo de conforto.

Analisada a variação das temperaturas no interior do compartimento, procede-se à análise dos ganhos e perdas de calor através dos diversos elementos constituintes da envolvente opaca e não opaca (vidros, paredes exteriores, tetos, pavimentos, divisórias, cobertura); renovações de ar na edificação (ventilação natural e infiltração); ganhos de calor do compartimento devido à radiação solar que passa através do envidraçado e ganhos internos (equipamentos, ocupação e iluminação). No **Anexo J (J9.5, J9.6, J9.7 e J9.8)**, consta a representação gráfica, para a estação de arrefecimento (Junho, Julho, Agosto e Setembro) e para a estação de aquecimento (Novembro, Dezembro, Janeiro e Fevereiro), do balanço térmico diurno (entre as 7:00 horas e as 19:00 horas) e do balanço térmico noturno (entre as 19:00 horas e as 7:00 horas).

No balanço térmico diurno de Verão, os maiores ganhos de calor no compartimento revelam-se através da radiação solar que atravessa os vãos envidraçados (50 453,1 Wh/m²), evidenciando um valor bastante elevado comparativamente aos restantes ganhos. As maiores perdas de calor do compartimento revelam-se através das paredes interiores e dos pavimentos térreos. No balanço térmico noturno de Verão os

maiores ganhos de calor do compartimento revelam-se através das paredes exteriores e das paredes interiores, enquanto as maiores perdas revelam-se através da ventilação externa,

No balanço térmico diurno de Inverno, os maiores ganhos de calor no compartimento revelam-se através da radiação solar que atravessa os vãos envidraçados ($35\,562,1\text{ Wh/m}^2$), evidenciando um valor bastante elevado comparativamente aos restantes ganhos. As maiores perdas de calor do compartimento revelam-se através dos vidros. Contudo, as perdas de calor do compartimento através das paredes interiores, das paredes exteriores, e da infiltração externa possuem valores consideráveis e equiparados. No balanço térmico noturno de Inverno os maiores ganhos de calor do compartimento revelam-se através das paredes interiores, enquanto as maiores perdas revelam-se através dos vidros, tendo as perdas através da infiltração externa um valor bastante significativo.

Comparando os resultados relativos aos ganhos de calor do compartimento através da radiação solar que atravessa os vãos envidraçados, aos obtidos antes da inclusão das melhores estratégias na moradia (inclusão de paredes trombe, inclusão de palas de sombreamento e alteração dos vãos envidraçados), é de evidenciar na cozinha, uma redução (em cerca de 21,08%) no Inverno, sendo que no Verão esta redução também acontece (em cerca de 28,79%).

A Figura 4.130, refere-se ao compartimento do **quarto 1**. Aqui é possível observar que as temperaturas no interior do quarto 1 oscilam entre os $14,16\text{ }^{\circ}\text{C}$ (25 de Janeiro, 07:00 h) a e os $30,82\text{ }^{\circ}\text{C}$ (24 de Agosto, 10:00h).

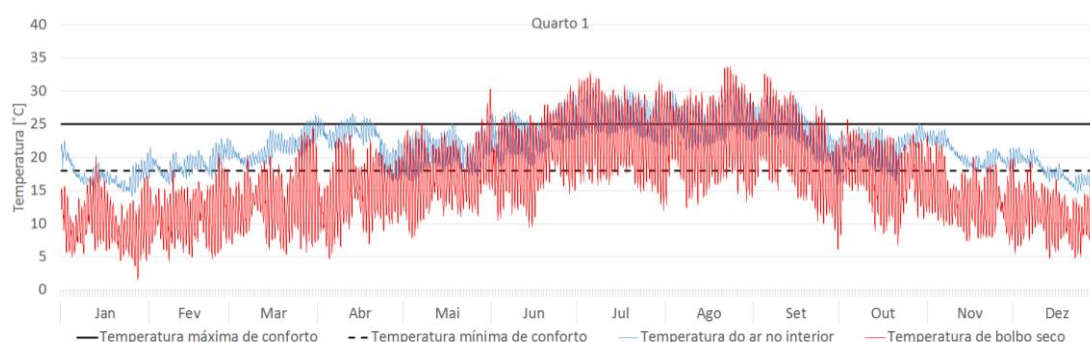


Figura 4.130 – Quarto 1: temperatura do ar no interior, temperatura de bolbo seco, temperatura máxima (25°C) e mínima (18°C) de conforto

Na Figura 4.131, apresenta-se, para todos os meses do ano, a percentagem de horas em que a temperatura ($^{\circ}\text{C}$) no interior do compartimento se situa em diferentes intervalos de temperatura.

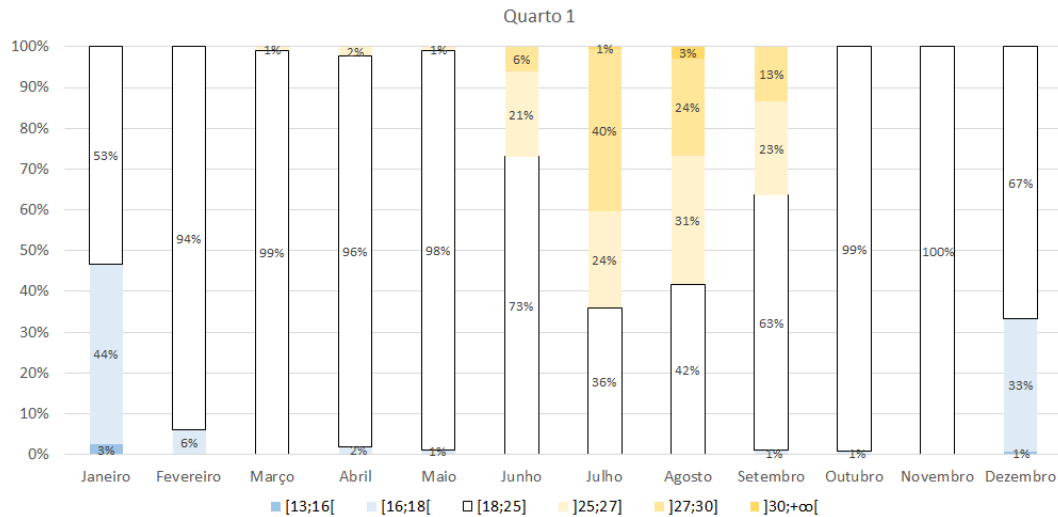


Figura 4.131 – Quarto 1: percentagem de horas em que a temperatura ($^{\circ}\text{C}$) no interior do compartimento se situa em diferentes intervalos de temperatura, para todos os meses do ano

Da observação da Figura 4.131, verificamos que é sobretudo nos meses mais quentes, que se fazem sentir maiores afastamentos face à temperatura máxima de conforto, os 25°C . Os meses de Julho e Agosto, são os meses mais críticos, podendo apresentar temperaturas superiores a 30°C . Os meses mais frios, não apresentam diferenças tão acentuadas face à temperatura mínima de conforto; sendo que os meses de Janeiro e Dezembro apresentam temperaturas compreendidas entre os 13°C e 18°C . Os meses de Fevereiro, Março, Abril, Maio, Junho, Outubro e Novembro são os que apresentam maior percentagem de horas com temperaturas dentro do intervalo de conforto; contrariamente aos meses de Janeiro, Julho, Agosto, Setembro e Dezembro, onde se verifica menor percentagem de horas com temperaturas dentro do intervalo de conforto.

Comparando estes resultados relativamente aos obtidos antes da alteração do tipo de vão envidraçado no quarto 1, e da inclusão da parede trombe ventilada 3 no mesmo compartimento, é de evidenciar um aumento da percentagem de horas com temperaturas dentro do intervalo de conforto, nos meses de Janeiro, Fevereiro, de Abril a Outubro, e de Dezembro, sendo que os meses de Maio e Junho, apresentam aumentos mais significativos. Contudo, o mês de Março e de Novembro, não apresentam alteração da percentagem de horas com temperaturas dentro do intervalo de conforto.

A Figura 4.132 representa, para todo o ano, a percentagem de horas em que a temperatura ($^{\circ}\text{C}$) no interior do compartimento se situa em diferentes intervalos de temperatura.

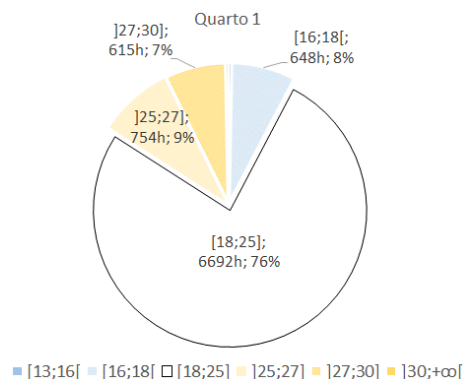


Figura 4.132 – Quarto 1: percentagem de horas em que a temperatura (°C) no interior do compartimento se situa em diferentes intervalos de temperatura, para todo o ano

Da observação da Figura 4.132, interpretamos que 76% de um total de 8760 horas, apresentam temperaturas dentro do intervalo de conforto (18 °C a 25 °C). Contudo, existem temperaturas fora do intervalo de conforto. Verificamos que 8 % das horas apresentam temperaturas compreendidos entre 16 °C a 18 °C, 9% das horas apresentam temperaturas compreendidas entre 25 °C e 27 °C, e 7% das horas que apresentam temperaturas compreendidas entre 27 °C e 30 °C. Conclui-se então que 76 % das horas apresentam temperaturas dentro do intervalo de conforto; em contrapartida, 24% das horas apresentam temperaturas fora do intervalo de conforto.

Comparando estes resultados relativamente aos obtidos antes da alteração do tipo de vão envidraçado no quarto 1, e inclusão da parede trombe ventilada 3 no mesmo compartimento, é de evidenciar que anualmente houve um aumento da percentagem de horas com temperaturas dentro do intervalo de conforto.

Analisada a variação das temperaturas no interior do compartimento, procede-se à análise dos ganhos e perdas de calor do compartimento através dos diversos elementos constituintes da envolvente opaca e não opaca (vidros, paredes exteriores, tetos, pavimentos, paredes interiores, cobertura); renovações de ar na edificação (ventilação natural e infiltração); ganhos e perdas de calor do compartimento através da parede trombe (condução e convecção); ganhos de calor devido à radiação solar que passa através do envidraçado e ganhos internos (equipamentos, ocupação e iluminação). Convém fazer referência que, devido a imposição do próprio software, os ganhos ou perdas de calor do compartimento através da parede trombe (por condução), surgem juntamente com as paredes interiores, visto que o software considera, que a parede acumuladora em betão, constitui uma parede interior. No entanto, os ganhos ou perdas de calor do compartimento através da parede trombe (por convecção), surgem de modo isolado no balanço térmico. No **Anexo J (J9.9, J9.10, J9.11 e J9.12)**, consta a representação gráfica, para a estação de arrefecimento (Junho, Julho, Agosto e Setembro) e para a estação de aquecimento (Novembro, Dezembro, Janeiro e Fevereiro), do balanço térmico diurno (entre as 7:00 horas e as 19:00 horas) e do balanço térmico noturno (entre as 19:00 horas e as 7:00 horas).

No balanço térmico diurno de Verão, os maiores ganhos de calor no compartimento revelam-se através da radiação solar que atravessa os vãos envidraçados (64 954,9 Wh/m²), evidenciando um valor bastante elevado comparativamente aos restantes ganhos. As maiores perdas de calor do compartimento revelam-se através das paredes interiores (inclui ganhos através da parede trombe por condução). No balanço térmico noturno de Verão os maiores ganhos de calor do compartimento revelam-se através das paredes

interiores (inclui ganhos através da parede trombe por condução), enquanto as maiores perdas revelam-se através da ventilação externa.

No balanço térmico diurno de Inverno, os maiores ganhos de calor no compartimento revelam-se através da radiação solar que atravessa os vãos envidraçados ($23\,086,7\text{ Wh/m}^2$), evidenciando um valor bastante elevado comparativamente aos restantes ganhos. As maiores perdas de calor do compartimento revelam-se através das paredes interiores (inclui ganhos através da parede trombe por condução) e infiltração externa. No balanço térmico noturno de Inverno os maiores ganhos de calor do compartimento revelam-se através das paredes interiores (inclui ganhos através da parede trombe por condução), enquanto as maiores perdas de calor do compartimento revelam-se através da infiltração externa, tendo as perdas de calor do compartimento através dos vidros um valor bastante significativo.

Comparando os resultados relativos aos ganhos de calor do compartimento através da radiação solar que atravessa os vãos envidraçados, aos obtidos antes da inclusão das melhores estratégias na moradia (inclusão de paredes trombe, inclusão de palas de sombreamento e alteração dos vãos envidraçados), é de evidenciar no quarto 1, uma redução (em cerca de 2,68%) no Inverno, sendo que no Verão esta redução também acontece (em cerca de 2,68%).

A Figura 4.133, refere-se ao compartimento da **instalação sanitária (quarto 1)**. Aqui é possível observar que as temperaturas no interior da instalação sanitária (quarto 1) oscilam entre os $14,67\text{ °C}$ (25 de Janeiro, 07:00 h) a e os $28,83\text{ °C}$ (24 de Agosto, 18:00h).

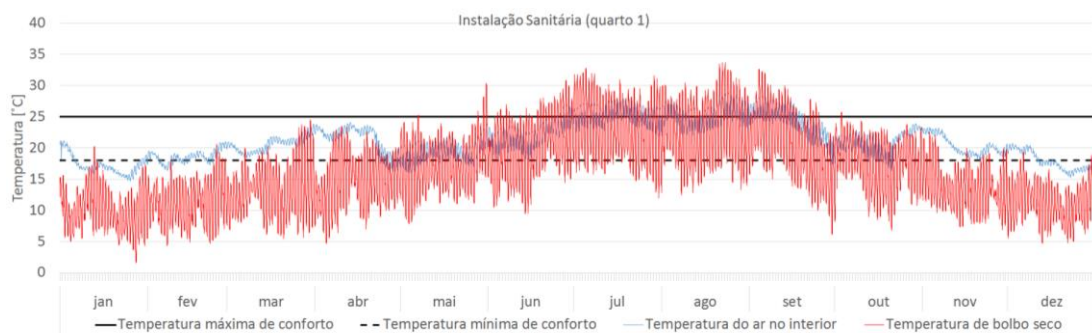


Figura 4.133 – Instalação Sanitária (Quarto 1): temperatura do ar no interior, temperatura de bolbo seco, temperatura máxima (25 °C) e mínima (18 °C) de conforto

Na Figura 4.134, apresenta-se, para todos os meses do ano, a percentagem de horas em que a temperatura (°C) no interior do compartimento se situa em diferentes intervalos de temperatura.

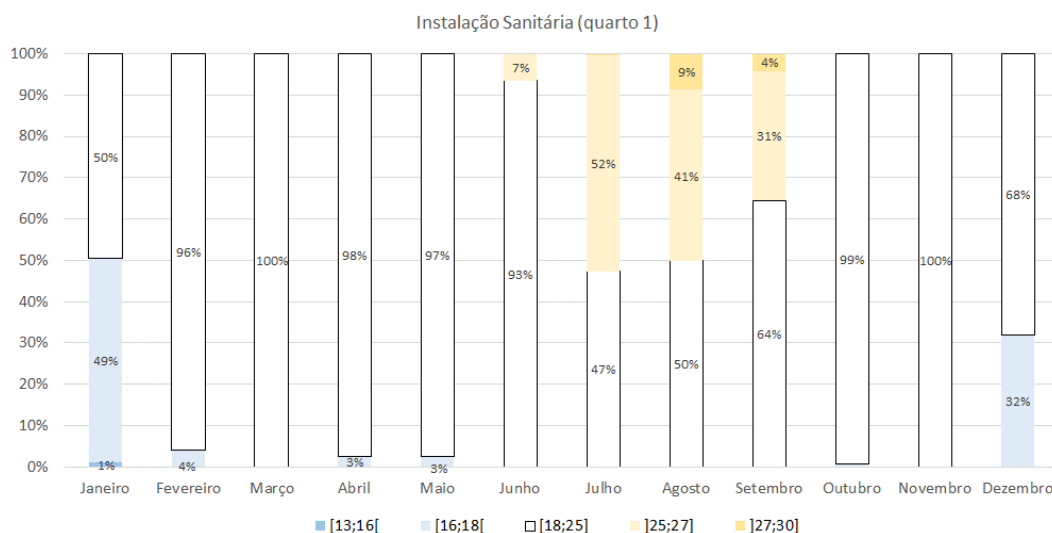


Figura 4.134 – Instalação Sanitária (Quarto 1): percentagem de horas em que a temperatura (°C) no interior do compartimento se situa em diferentes intervalos de temperatura, para todos os meses do ano

Da observação da Figura 4.134, verificamos que é sobretudo nos meses mais quentes, que se fazem sentir maiores afastamentos face à temperatura máxima de conforto, os 25 °C. Os meses de Agosto e Setembro, são os meses mais críticos, podendo apresentar temperaturas compreendidas entre 18 °C e 30 °C. Os meses mais frios, não apresentam diferenças tão acentuadas face à temperatura mínima de conforto; sendo que o mês de Janeiro apresenta temperaturas compreendidas entre os 13 °C e 18 °C. Os meses de Fevereiro, Março, Abril, Maio, Junho, Outubro e Novembro são os que apresentam maior percentagem de horas com temperaturas dentro do intervalo de conforto; contrariamente aos meses de Janeiro, Julho, Agosto, Setembro e Dezembro, onde se verifica menor percentagem de horas com temperaturas dentro do intervalo de conforto.

Comparando estes resultados relativamente aos obtidos antes das estratégias incluídas nos compartimentos adjacentes (quarto 1 e sala de estar/jantar), é de evidenciar um aumento da percentagem de horas com temperaturas dentro do intervalo de conforto, nos meses de Janeiro, de Fevereiro, de Junho a Setembro, e de Dezembro, sendo que os meses de Janeiro, Junho, Julho e Dezembro, os que apresentam aumentos mais significativos. Contudo, o mês de Março e de Novembro, não apresentam alteração da percentagem de horas com temperaturas dentro do intervalo de conforto. Nos meses de Abril, Maio e Outubro, verifica-se uma redução da percentagem de horas com temperaturas dentro do intervalo de conforto.

A Figura 4.135 representa, para todo o ano, a percentagem de horas em que a temperatura (°C) no interior do compartimento se situa em diferentes intervalos de temperatura.

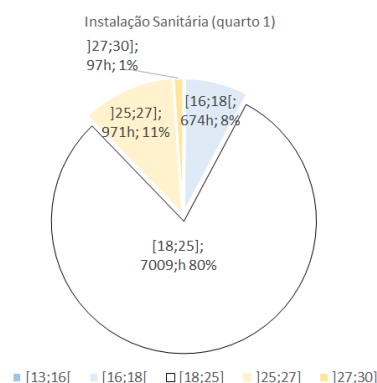


Figura 4.135 – Instalação Sanitária (Quarto 1): percentagem de horas em que a temperatura (°C) no interior do compartimento se situa em diferentes intervalos de temperatura, para todo o ano

Da observação da Figura 4.135, interpretamos que 80% de um total de 8760 horas, apresentam temperaturas dentro do intervalo de conforto (18 °C a 25 °C). Contudo, existem temperaturas fora do intervalo de conforto. Verificamos que 8 % das horas apresentam temperaturas compreendidos entre 16 °C a 18 °C, 11% das horas apresentam temperaturas compreendidas entre 25 °C e 27 °C, e 1% das horas que apresentam temperaturas compreendidas entre 27 °C e 30 °C. Conclui-se então que 80 % das horas apresentam temperaturas dentro do intervalo de conforto; em contrapartida, 20% das horas apresentam temperaturas fora do intervalo de conforto.

Comparando estes resultados relativamente aos obtidos antes das estratégias incluídas nos compartimentos adjacentes (quarto 1 e sala de estar/jantar), é de evidenciar que anualmente houve um aumento da percentagem de horas com temperaturas dentro do intervalo de conforto.

Analisada a variação das temperaturas no interior do compartimento, procede-se à análise dos ganhos e perdas de calor do compartimento através dos diversos elementos constituintes da envolvente opaca e não opaca (vidros, paredes exteriores, tetos, pavimentos, divisórias, cobertura); renovações de ar na edificação (ventilação natural e infiltração); ganhos de calor do compartimento devido à radiação solar que passa através do envidraçado e ganhos internos (equipamentos, ocupação e iluminação). No **Anexo J (J9.13, J9.14, J9.15 e J9.16)**, consta a representação gráfica, para a estação de arrefecimento (Junho, Julho, Agosto e Setembro) e para a estação de aquecimento (Novembro, Dezembro, Janeiro e Fevereiro), do balanço térmico diurno (entre as 7:00 horas e as 19:00 horas) e do balanço térmico noturno (entre as 19:00 horas e as 7:00 horas).

No balanço térmico diurno de Verão, os maiores ganhos de calor no compartimento revelam-se através das paredes interiores, evidenciando um valor bastante elevado comparativamente aos restantes ganhos. As maiores perdas de calor do compartimento revelam-se através dos pavimentos térreos e ventilação externa. No balanço térmico noturno de Verão os maiores ganhos de calor do compartimento revelam-se através das paredes interiores, enquanto as maiores perdas revelam-se através da ventilação externa.

No balanço térmico diurno de Inverno, os maiores ganhos de calor do compartimento revelam-se através das paredes interiores, evidenciando um valor bastante elevado comparativamente aos restantes ganhos. As maiores perdas de calor do compartimento revelam-se através da infiltração externa. No balanço térmico noturno de Inverno os maiores ganhos de calor do compartimento revelam-se através das paredes interiores, enquanto as maiores perdas revelam-se através da infiltração externa.

A Figura 9.136, refere-se ao compartimento da **Instalação Sanitária (zona de entrada)**. Aqui é possível observar que as temperaturas no interior da Instalação Sanitária (zona de entrada) oscilam entre os 13,62 °C (25 de Janeiro, 07:00 h) a e os 28,26 °C (25 de Agosto, 15:00 h).

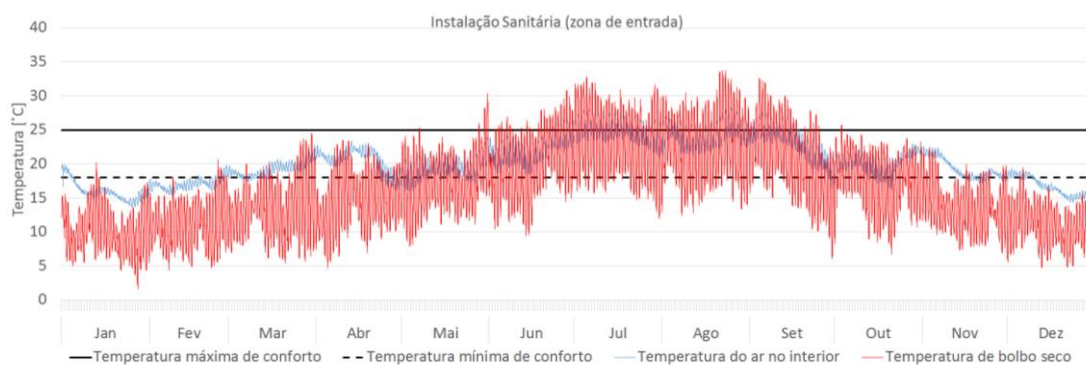


Figura 4.136 – Instalação Sanitária (zona de entrada): temperatura do ar no interior, temperatura de bolbo seco, temperatura máxima (25°C) e mínima (18°C) de conforto

Na Figura 4.137, apresenta-se, para todos os meses do ano, a percentagem de horas em que a temperatura (°C) no interior do compartimento se situa em diferentes intervalos de temperatura.

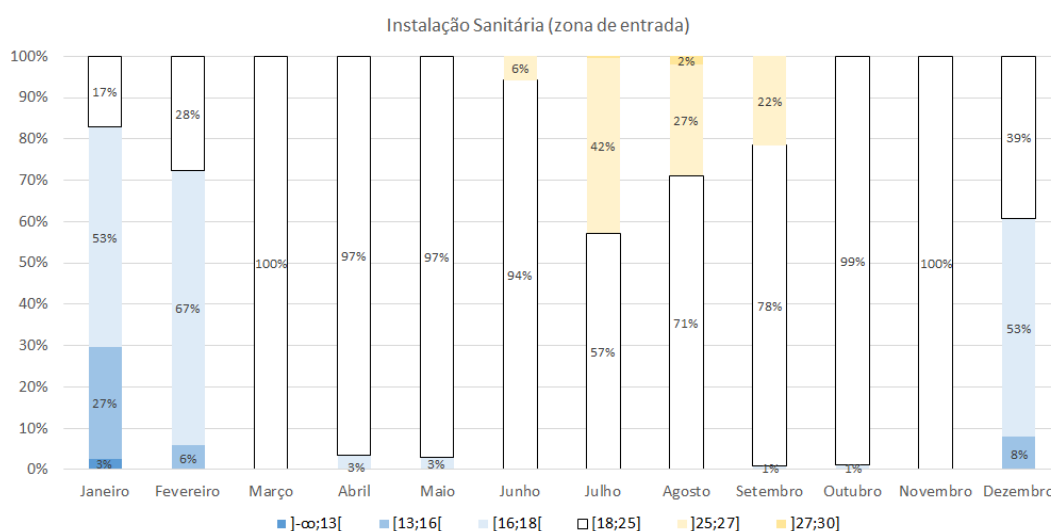


Figura 4.137 – Instalação Sanitária (zona de entrada): percentagem de horas em que a temperatura (°C) no interior do compartimento se situa em diferentes intervalos de temperatura, para todos os meses do ano

Da observação da Figura 4.137, verificamos que é sobretudo nos meses mais frios, que se fazem sentir maiores afastamentos face à temperatura mínima de conforto, os 18 °C. O mês de Janeiro, é o mês mais crítico, podendo apresentar temperaturas inferiores a 13 °C. Os meses mais quentes, não apresentam diferenças tão acentuadas face à temperatura máxima de conforto; sendo que o mês Agosto, é o mais crítico, apresentando temperaturas compreendidas entre os 18 °C e 30 °C. Os meses de Março, Abril, Maio, Junho, Setembro, Outubro e Novembro são os que apresentam maior percentagem de horas com temperaturas dentro do intervalo de conforto; contrariamente aos meses de Janeiro, Fevereiro e Dezembro, onde se verifica menor percentagem de horas com temperaturas dentro do intervalo de conforto.

Comparando estes resultados relativamente aos obtidos antes da alteração do tipo de vão envidraçado da claraboia na instalação sanitária (zona de entrada), é de evidenciar um aumento da percentagem de horas com temperaturas dentro do intervalo de conforto, nos meses de Janeiro, de Fevereiro, de Junho a Setembro, e de Dezembro; sendo que os meses de Junho, Julho e Agosto, apresentam aumentos mais significativos. Contudo, o mês de Março e de Novembro, não apresentam alteração da percentagem de horas com temperaturas dentro do intervalo de conforto.

A Figura 4.138 representa, para todo o ano, a percentagem de horas em que a temperatura (°C) no interior do compartimento se situa em diferentes intervalos de temperatura.

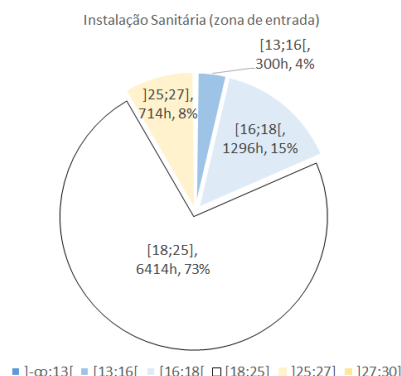


Figura 4.138 – Instalação Sanitária (zona de entrada): percentagem de horas em que a temperatura (°C) no interior do compartimento se situa em diferentes intervalos de temperatura, para todo o ano

Da observação da Figura 4.138, interpretamos que 73% de um total de 8760 horas, apresentam temperaturas dentro do intervalo de conforto (18 °C a 25 °C). Contudo, existem temperaturas fora do intervalo de conforto. Verificamos que 15 % das horas apresentam temperaturas compreendidos entre 16 °C a 18 °C, 4% das horas apresentam temperaturas compreendidas entre 13 °C e 16 °C, e 8% das horas que apresentam temperaturas compreendidas entre 25 °C e 27 °C. Conclui-se então que 73 % das horas apresentam temperaturas dentro do intervalo de conforto; em contrapartida, 27% das horas apresentam temperaturas fora do intervalo de conforto.

Comparando estes resultados relativamente aos obtidos antes da alteração do tipo de vão envidraçado (claraboia) na instalação sanitária (zona de entrada), é de evidenciar que anualmente houve um aumento da percentagem de horas com temperaturas dentro do intervalo de conforto.

Analisada a variação das temperaturas no interior do compartimento, procede-se à análise dos ganhos e perdas de calor do compartimento através dos diversos elementos constituintes da envolvente opaca e não opaca (vidros, paredes exteriores, tetos, pavimentos, divisórias, cobertura); renovações de ar na edificação (ventilação natural e infiltração); ganhos de calor do compartimento devido à radiação solar que passa através do envidraçado e ganhos internos (equipamentos, ocupação e iluminação). No **Anexo J (J9.17, J9.18, J9.19 e J9.20)**, consta a representação gráfica, para a estação de arrefecimento (Junho, Julho, Agosto e Setembro) e para a estação de aquecimento (Novembro, Dezembro, Janeiro e Fevereiro), do balanço térmico diurno (entre as 7:00 horas e as 19:00 horas) e do balanço térmico noturno (entre as 19:00 horas e as 7:00 horas).

No balanço térmico diurno de Verão, os maiores ganhos de calor no compartimento revelam-se através da radiação solar que atravessa os vãos envidraçados (30 245,1 Wh/m²), evidenciando um valor bastante

elevado comparativamente aos restantes ganhos. As maiores perdas de calor do compartimento revelam-se através das paredes interiores. No balanço térmico noturno de Verão os maiores ganhos de calor no compartimento revelam-se através das paredes exteriores e das paredes interiores, enquanto as maiores perdas revelam-se através da ventilação externa.

No balanço térmico diurno de Inverno, os maiores ganhos de calor no compartimento revelam-se através da radiação solar que atravessa os vãos envidraçados ($7\,430,3 \text{ Wh/m}^2$) e paredes interiores, evidenciando um valor bastante elevado comparativamente aos restantes ganhos. As maiores perdas de calor do compartimento revelam-se através das paredes exteriores. No balanço térmico noturno de Inverno os maiores ganhos de calor do compartimento revelam-se através das paredes interiores, enquanto as maiores perdas de calor do compartimento revelam-se através da infiltração externa, tendo as perdas devido às paredes exteriores um valor bastante significativo.

Comparando os resultados relativos aos ganhos de calor do compartimento através da radiação solar que atravessa os vãos envidraçados, aos obtidos antes da inclusão das melhores estratégias na moradia (inclusão de paredes trombe, inclusão de palas de sombreamento e alteração dos vãos envidraçados), é de evidenciar na instalação sanitária (zona de entrada), uma redução (em cerca de 36,11%) no Inverno, sendo que no Verão esta redução também acontece (em cerca de 30,94%).

Terminada a análise referente a cada um dos compartimentos, procede-se à análise do edifício na sua globalidade, no que se refere aos ganhos e perdas de calor do edifício através dos diversos elementos constituintes da envolvente opaca e não opaca (vidros, paredes exteriores, tetos, pavimentos, divisórias, cobertura); renovações de ar na edificação (ventilação natural e infiltração); ganhos e perdas de calor através das paredes trombe (condução e convecção); ganhos de calor do edifício devido à radiação solar que passa através do envidraçado e ganhos internos (equipamentos, ocupação e iluminação). Convém fazer referência que, devido a imposição do próprio software, os ganhos ou perdas de calor do edifício através das paredes trombe (por condução), surgem juntamente com as paredes interiores, visto que o software considera, que a parede acumuladora em betão, constitui uma parede interior. No entanto, os ganhos ou perdas de calor do edifício através das paredes trombe (por convecção), surgem de modo isolado no balanço térmico. No **Anexo J (J9.21, J9.22, J9.23 e J9.24)**, consta a representação gráfica, para a estação de arrefecimento (Junho, Julho, Agosto e Setembro) e para a estação de aquecimento (Novembro, Dezembro, Janeiro e Fevereiro), do balanço térmico diurno (entre as 7:00 horas e as 19:00 horas) e do balanço térmico noturno (entre as 19:00 horas e as 7:00 horas).

No balanço térmico diurno de Verão, os maiores ganhos de calor no compartimento revelam-se através da radiação solar que atravessa os vãos envidraçados ($32\,751,6 \text{ Wh/m}^2$), evidenciando um valor bastante elevado comparativamente aos restantes ganhos. As maiores perdas de calor do compartimento revelam-se através das paredes interiores (inclui ganhos através das paredes trombe por condução), tendo as perdas de calor do compartimento através dos pavimentos térreos um valor significativo. No balanço térmico noturno de Verão os maiores ganhos de calor do compartimento revelam-se através das paredes interiores (inclui ganhos através das paredes trombe por condução), enquanto as maiores perdas revelam-se através da ventilação externa.

No balanço térmico diurno de Inverno, os maiores ganhos de calor no compartimento revelam-se através da radiação solar que atravessa os vãos envidraçados ($24\,239,7 \text{ Wh/m}^2$), evidenciando um valor bastante elevado comparativamente aos restantes ganhos. As maiores perdas de calor do compartimento revelam-se através da infiltração externa. No balanço térmico noturno de Inverno os maiores ganhos de calor do compartimento revelam-se através das paredes interiores (inclui ganhos através das paredes trombe por

condução), enquanto as maiores perdas revelam-se através da infiltração externa, tendo as perdas de calor do compartimento através dos vidros um valor bastante significativo.

No **Anexo J (J9.25, J9.26)** apresentam-se os resultados do balanço térmico anual do edifício, em horário diurno (das 7:00 horas às 19:00 horas) e horário noturno (das 19:00 horas às 7:00 horas). No balanço térmico diurno, os maiores ganhos de calor no compartimento revelam-se através da radiação solar que atravessa os vãos envidraçados ($88\,084,4\text{ Wh/m}^2$), evidenciando um valor bastante elevado comparativamente aos restantes ganhos. As maiores perdas de calor no edifício revelam-se através das paredes interiores (inclui ganhos através das paredes trombe por condução), tendo as perdas de calor no do edifício através das paredes exteriores, dos pavimentos térreos e das coberturas, perdas de valor significativo e equiparado. Já no balanço térmico noturno os maiores ganhos de calor no edifício revelam-se através das paredes interiores (inclui ganhos ou perdas através das paredes trombe por condução), enquanto as maiores perdas de calor no edifício revelam-se através da ventilação externa, tendo as perdas devido a infiltração externa um valor bastante significativo.

4.3.7.2.SIMULAÇÃO 7.2 – EDIFÍCIO COM MELHORES ESTRATÉGIAS E COM SISTEMAS ATIVOS

A presente simulação visa mostrar o edifício após inclusão das melhores estratégias solares passivas, com recurso a sistemas ativos, utilizando para aquecimento o gás natural, e para arrefecimento a eletricidade. O que se pretende com a presente simulação é obter as necessidades energéticas da climatização inerente às condições térmicas definidas. Nesta simulação, foram obtidos resultados a nível global do edifício, referentes ao balanço térmico diurno (das 7:00 horas às 19:00 horas) e noturno (das 19:00 horas às 7:00 horas), para estação de aquecimento (Janeiro, Fevereiro, Novembro e Dezembro), arrefecimento (Junho, Julho, Agosto e Setembro) e anual (Janeiro a Dezembro); referente aos ganhos e perdas de calor do edifício através dos diversos elementos constituintes da envolvente opaca e não opaca (vidros, paredes exteriores, tetos, pavimentos, divisórias, cobertura); renovações de ar na edificação (ventilação natural e infiltração); ganhos e perdas de calor do edifício através das paredes trombe (condução e convecção); ganhos de calor do edifício através da radiação solar que passa através do envidraçado e ganhos internos (equipamentos, ocupação e iluminação). Convém fazer referência que, devido a imposição do próprio software, os ganhos ou perdas de calor do edifício (por condução) através das paredes trombe, surgem juntamente com as paredes interiores, visto que o software considera, que as paredes acumuladoras em betão, constituem paredes interiores. No entanto, as perdas ou ganhos do edifício através das paredes trombe (por convecção), surgem de modo isolado no balanço térmico. As Figuras 4.139 e 4.140 representam graficamente, para a estação de arrefecimento (Junho, Julho, Agosto e Setembro), o balanço térmico diurno (entre as 7:00 horas e as 19:00 horas) e o balanço térmico noturno (entre as 19:00 horas e as 7:00 horas). Como é possível observar na Figura 4.139, no balanço térmico diurno de Verão, os maiores ganhos de calor do edifício revelam-se através da radiação solar que atravessa os vãos envidraçados ($33\,827,5\text{ Wh/m}^2$), evidenciando um valor bastante elevado comparativamente aos restantes ganhos. As maiores perdas de calor do edifício revelam-se através das paredes interiores (inclui ganhos ou perdas através das paredes trombe por condução), tendo as perdas de calor do edifício através dos pavimentos térreos valores também significativos.

Relativamente às necessidades energéticas para obtermos conforto no interior ($18\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $25\text{ }^{\circ}\text{C}$), durante o horário diurno de Verão seria necessário $10\,731,2\text{ Wh/m}^2$ de energia para arrefecimento e $32,1\text{ Wh/m}^2$ de energia para aquecimento. Comparando estes valores com os valores das necessidades energéticas antes da inclusão das estratégias passivas, é de notar, no balanço térmico em horário diurno de Verão, uma redução bastante significativa (redução de $3\,723,0\text{ Wh/m}^2$) das necessidades energéticas de arrefecimento. Contudo, no balanço térmico em horário diurno de Verão, houve um aumento de valor quase insignificante ($32,1\text{ Wh/m}^2$) das necessidades energéticas de aquecimento.

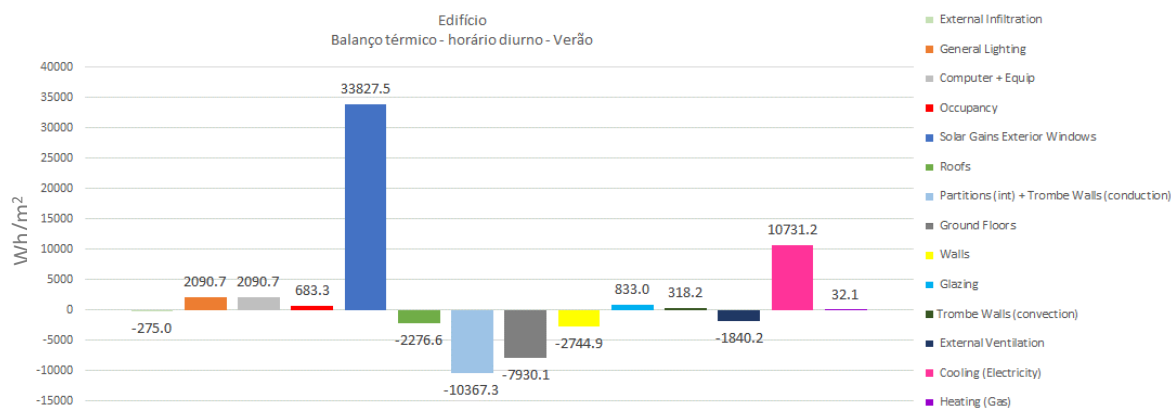


Figura 4.139 – Edifício: balanço térmico de Verão em horário diurno

Já durante o horário noturno, os maiores ganhos de calor do edifício revelam-se através das paredes interiores (inclui ganhos ou perdas através das paredes trombe por condução), tendo os ganhos de calor do edifício através das paredes exteriores valor considerável. As maiores perdas de calor do edifício revelam-se através da ventilação externa.

Relativamente às necessidades energéticas para obtermos conforto no interior (18 °C a 25 °C), durante o horário noturno de Verão seria necessário 1 263,4 Wh/m² de energia para arrefecimento e 16,8 Wh/m² de energia para aquecimento. Comparando estes valores com os valores das necessidades energéticas antes da inclusão das estratégias passivas, é de notar, no balanço térmico em horário noturno de Verão, uma redução significativa (redução de 1 340,7 Wh/m²) das necessidades energéticas de arrefecimento. Contudo, no balanço térmico em horário noturno de Verão, houve um aumento de valor pouco significativo (aumento de 16,8 Wh/m²) das necessidades energéticas de aquecimento.

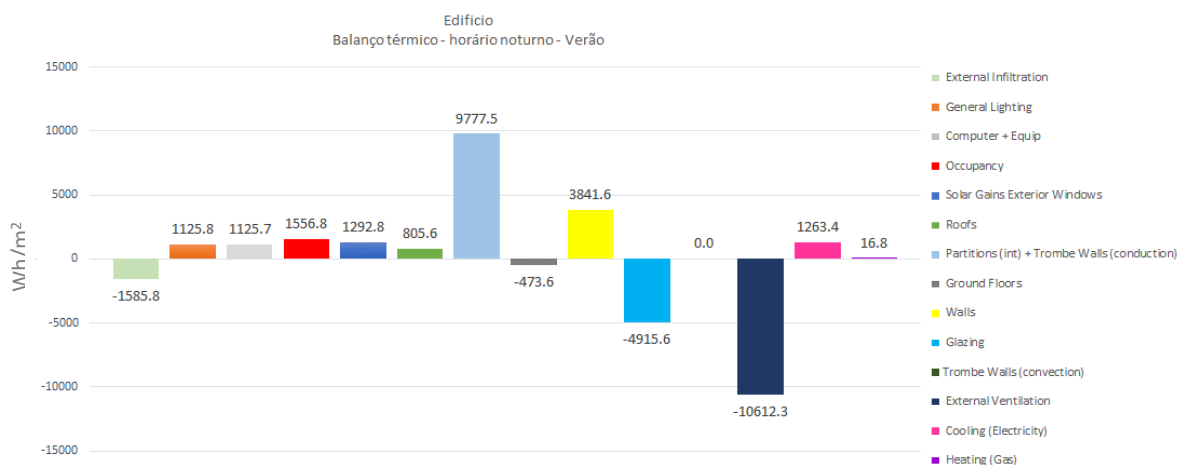


Figura 4.140 – Edifício: balanço térmico de Verão em horário noturno

As Figuras 4.141 e 4.142 representam graficamente, para a estação de aquecimento (Novembro, Dezembro, Janeiro e Fevereiro), o balanço térmico diurno (entre as 7:00 horas e as 19:00 horas) e o balanço térmico noturno (entre as 19:00 horas e as 7:00 horas). Como é possível observar na Figura 4.141, no balanço térmico diurno, os maiores ganhos de calor do edifício revelam-se através da radiação solar que atravessa os vãos envidraçados (27 450,2 Wh/m²), evidenciando um valor bastante elevado comparativamente aos restantes ganhos. As maiores perdas de calor do edifício revelam-se através das paredes interiores (inclui ganhos e perdas através das paredes trombe por condução), tendo as perdas de

calor do edifício através das coberturas, dos pavimentos térreos, dos vidros e das paredes exteriores valores equiparados.

Relativamente às necessidades energéticas para obtermos conforto no interior (18 °C a 25 °C), durante o horário diurno de Inverno seria necessário 1 891,9 Wh/m² de energia para arrefecimento e 1805,1 Wh/m² de energia para aquecimento. Comparando estes valores com os valores das necessidades energéticas antes da inclusão das estratégias passivas, é de notar, no balanço térmico em horário diurno de Inverno, uma redução significativa (redução de 1 991,3 Wh/m²) das necessidades energéticas de aquecimento. Contudo, no balanço térmico em horário diurno de Inverno, houve um aumento de valor significativo (aumento de 1 166,2 Wh/m²) das necessidades energéticas de arrefecimento.

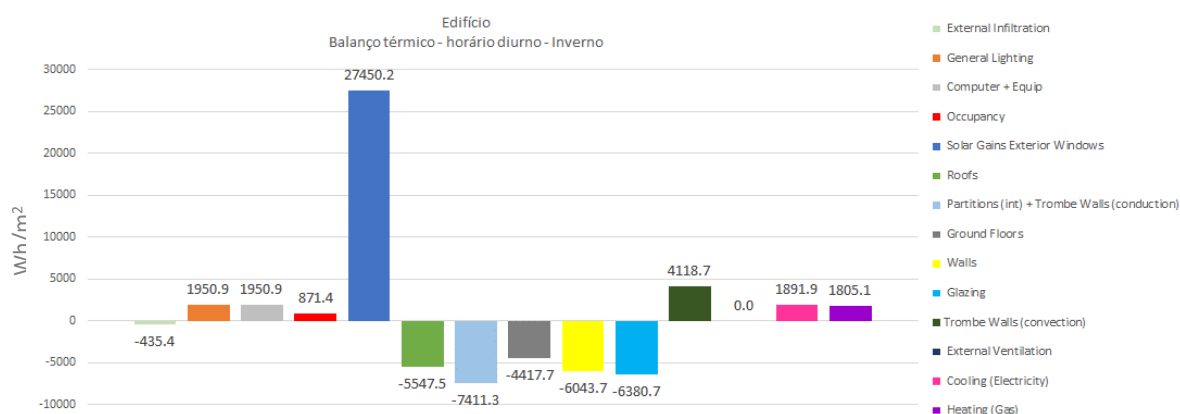


Figura 4.141 – Edifício: balanço térmico de Inverno em horário diurno

Já durante o horário noturno, os maiores ganhos de calor do edifício revelam-se através das paredes interiores (inclui ganhos e perdas através das paredes trombe por condução). As maiores perdas de calor do edifício revelam-se através dos vidros.

Relativamente às necessidades energéticas para obtermos conforto no interior (18 °C a 25 °C), durante o horário noturno de Inverno seria necessário 15,1 Wh/m² de energia para arrefecimento e 3 410,4 Wh/m² de energia para aquecimento. Comparando estes valores com os valores das necessidades energéticas antes da inclusão das estratégias passivas, é de notar, no balanço térmico em horário noturno de Inverno, uma redução significativa (redução de 1 876,0 Wh/m²) das necessidades energéticas de aquecimento. Contudo, no balanço térmico em horário noturno de Inverno, houve um aumento de valor pouco significativo (aumento de 15,1 Wh/m²) das necessidades energéticas de arrefecimento.

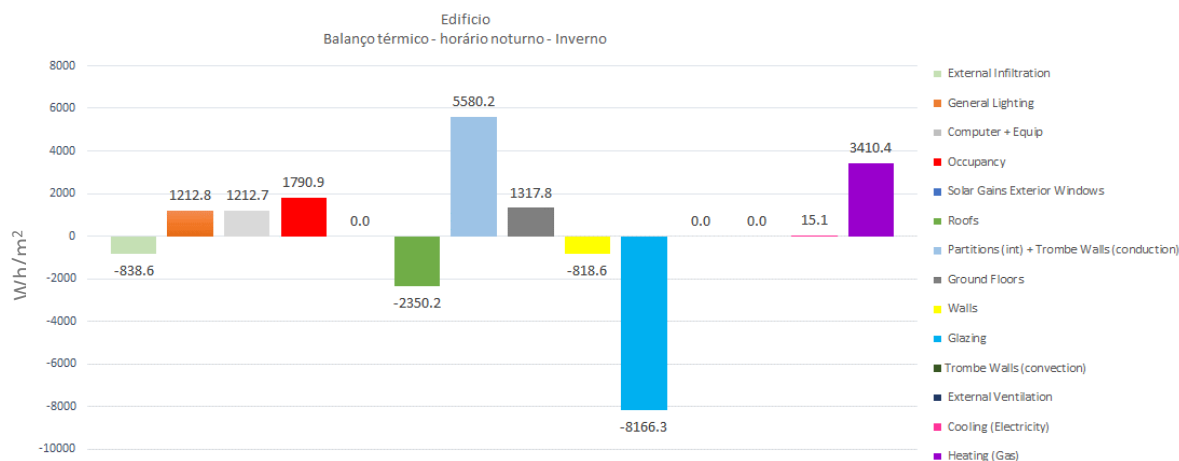


Figura 4.142 – Edifício: balanço térmico de Inverno em horário noturno

As Figuras 4.143 e 4.144 representam graficamente, para todo o ano, o balanço térmico diurno (entre as 7:00 horas e as 19:00 horas) e o balanço térmico noturno (entre as 19:00 horas e as 7:00 horas). Como é possível observar na Figura 4.143, no balanço térmico diurno, os maiores ganhos de calor do edifício revelam-se através da radiação solar que atravessa os vãos envidraçados ($95\,438,4 \text{ Wh/m}^2$), evidenciando um valor bastante elevado comparativamente aos restantes ganhos. As maiores perdas de calor do edifício revelam-se através das paredes interiores (inclui ganhos e perdas através das paredes trombe por condução), tendo as perdas de calor do edifício através das coberturas, dos pavimentos térreos, dos vidros e das paredes exteriores valor equiparado.

Relativamente às necessidades energéticas para obtermos conforto no interior (18°C a 25°C), durante o horário diurno anual seria necessário $15\,453,4 \text{ Wh/m}^2$ de energia para arrefecimento e $1\,994,2 \text{ Wh/m}^2$ de energia para aquecimento. Comparando estes valores com os valores das necessidades energéticas antes da inclusão das estratégias passivas, é de notar, no balanço térmico em horário diurno anual, uma redução significativa das necessidades energéticas de aquecimento (redução de $1\,844,1 \text{ Wh/m}^2$) e das necessidades energéticas de arrefecimento (redução de $2\,642,6 \text{ Wh/m}^2$).

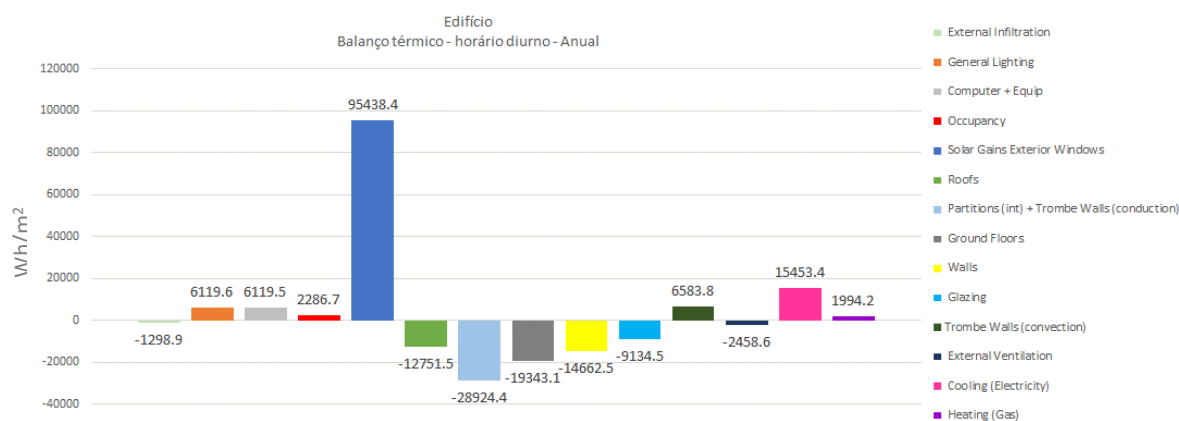


Figura 4.143 – Edifício: balanço térmico anual em horário diurno

Já durante o horário noturno, os maiores ganhos de calor do edifício revelam-se das paredes interiores (inclui ganhos e perdas através das paredes trombe por condução). As maiores perdas de calor do edifício revelam-se através dos vidros e da ventilação externa.

Relativamente às necessidades energéticas para obtermos conforto no interior (18°C a 25°C), durante o horário noturno anual seria necessário $1\,336,8\text{ Wh/m}^2$ de energia para arrefecimento e $3\,793,2\text{ Wh/m}^2$ de energia para aquecimento. Comparando estes valores com os valores das necessidades energéticas antes da inclusão das estratégias passivas, é de notar, no balanço térmico em horário noturno anual, uma redução significativa das necessidades energéticas de aquecimento (redução de $1\,369,5\text{ Wh/m}^2$) e das necessidades energéticas de arrefecimento (redução de $1\,300,8\text{ Wh/m}^2$).

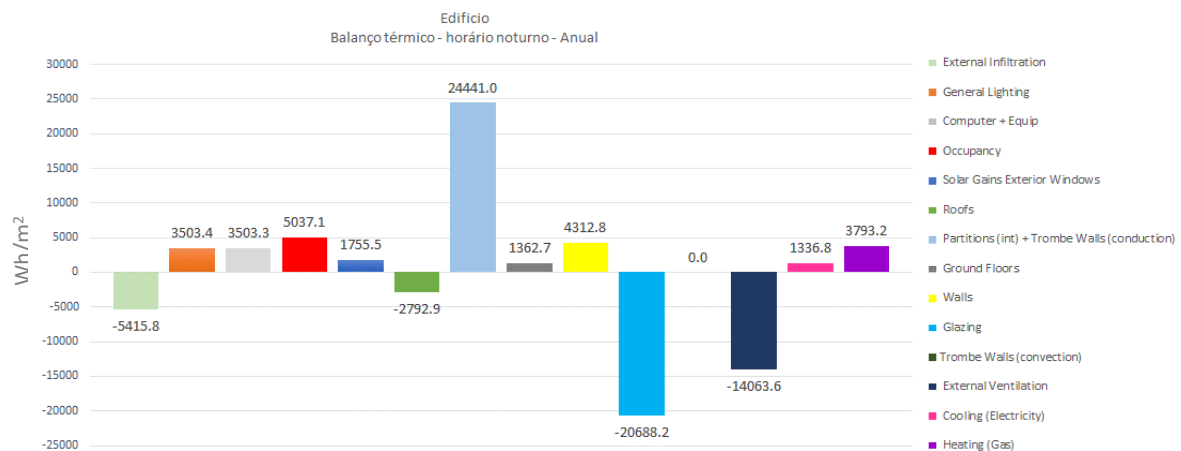


Figura 4.144 – Edifício: balanço térmico anual em horário noturno

No seguimento das Figuras 4.143 e 4.144, convém deste modo quantificar as necessidades energéticas de aquecimento e de arrefecimento ao longo de um ano. A Figura 4.145, apresenta o balanço térmico do edifício anual, para as 24 horas de cada dia, ou seja, contemplando o horário diurno e noturno.

Como é possível observar na Figura 4.145, no balanço térmico anual (diurno + noturno), os maiores ganhos de calor do edifício revelam-se através da radiação solar que atravessa os vãos envidraçados ($97\,193,9\text{ Wh/m}^2$), evidenciando um valor bastante elevado comparativamente aos restantes ganhos. As maiores perdas de calor do edifício revelam-se através dos vidros, tendo as perdas de calor do edifício através das coberturas, dos pavimentos térreos e da ventilação externa valor equiparado.

Relativamente às necessidades energéticas para obtermos conforto no interior (18°C a 25°C), durante o horário diurno+noturno anual seria necessário $16\,790,2\text{ Wh/m}^2$ de energia para arrefecimento e $5\,787,4\text{ Wh/m}^2$ de energia para aquecimento. Comparando estes valores com os valores das necessidades energéticas antes da inclusão das estratégias passivas, é de notar, no balanço térmico em horário diurno+noturno anual, uma redução significativa das necessidades energéticas de aquecimento (redução de $3\,393,6\text{ Wh/m}^2$) e das necessidades energéticas de arrefecimento (redução de $3\,943,4\text{ Wh/m}^2$).

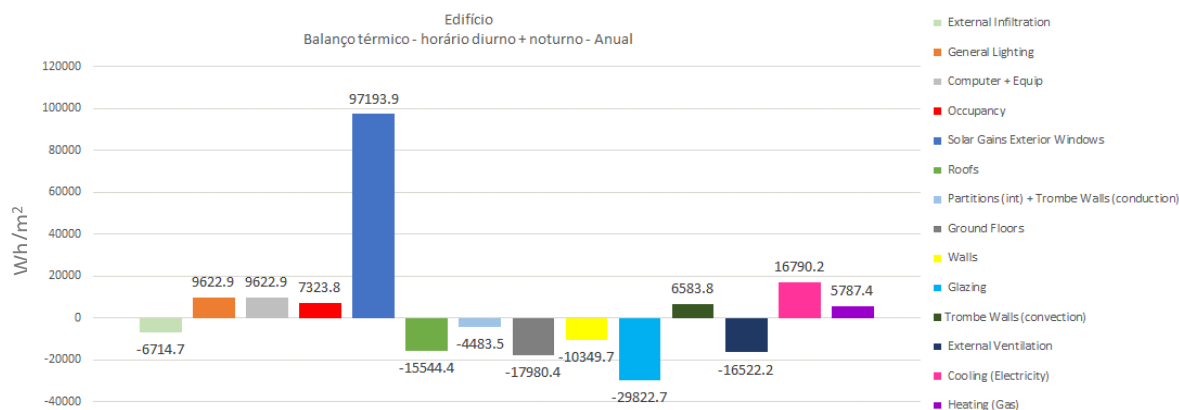


Figura 4.145 – Edifício: balanço térmico anual em horário diurno + noturno

Para sintetizar esta informação relativa às necessidades energéticas para obtermos conforto no interior (18 °C a 25 °C), a Figura 4.146 apresentam as necessidades energéticas de aquecimento e de arrefecimento, antes e após a inclusão das estratégias passivas.

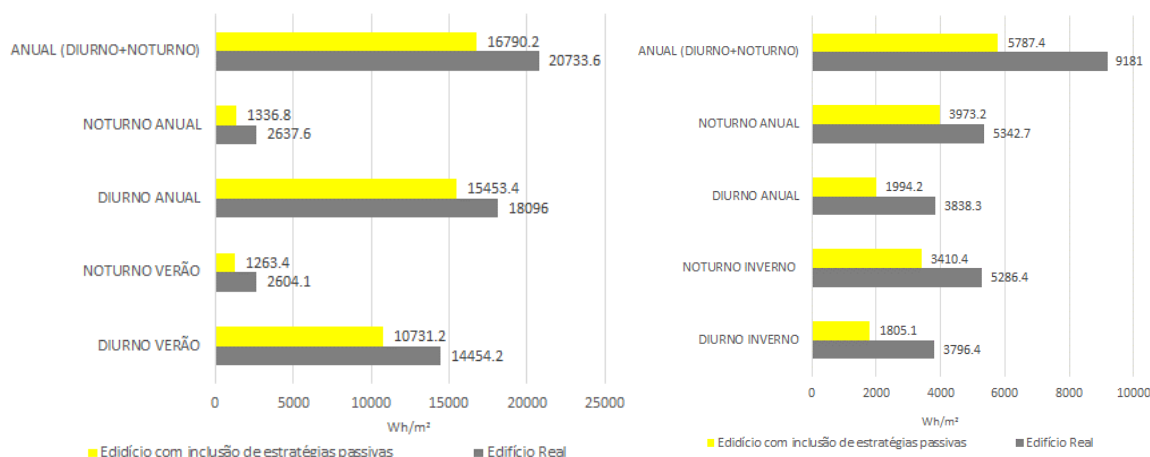


Figura 4.146 – Necessidades de arrefecimento (Wh/m²) do edifício (à esquerda) e Necessidades de aquecimento (Wh/m²) do edifício (à direita)

Observando os resultados obtidos representados na figura 4.146, é notável uma redução considerável para os diferentes tipos de análise que se efetuaram (tanto para Verão, Inverno e anual) das necessidades de arrefecimento e aquecimento.

Concluiu-se que através da adoção de sistemas passivos é possível reduzir as necessidades energéticas nos edifícios e aumentar o conforto. No edifício referente ao caso de estudo, a inclusão das paredes trombe ventiladas, a alteração dos vãos envidraçados e a inclusão de elementos de proteção solar (palas horizontais) sobre vãos envidraçados orientados a Sul, permitiu uma **redução das necessidades energéticas para aquecimento** (em cerca de **36,96%**) e das **necessidades energéticas para arrefecimento** (em cerca de **19,02%**).

5

CONCLUSÕES E POSSÍVEIS DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

5.1. CONCLUSÕES

5.1.1. CONCLUSÕES CASO DE ESTUDO

São muitas as estratégias solares passivas que podem contribuir para a redução das necessidades de aquecimento, arrefecimento e iluminação de um determinado edifício, sendo que a sua utilização depende do clima e das características envolventes em que este se insere [10]. Assim, é por vezes difícil enunciar e descrever de forma precisa quais as melhores estratégias solares passivas uma vez que estas dependem do fim que se pretende atingir.

Na presente dissertação, procedeu-se à simulação dinâmica do edifício recorrendo ao software Design Builder. A estratégia adotada para a simulação dinâmica do edifício, passou inicialmente pela simulação do edifício real (Simulações 1.1), ou seja, sem qualquer alteração do projeto de arquitetura, para posteriormente, após verificação de necessidades do edifício (Simulação 1.2), implementar algumas estratégias com inclusão de sistemas solares passivos, de modo a obter resultados a nível de conforto satisfatórios, considerando para o efeito, um intervalo de conforto situado entre 18 °C (Inverno) e 25 °C (Verão). As estratégias adotadas passaram pela alteração dos vãos envidraçados (substituição do vidro duplo incolor por vidro duplo baixo emissivo), inclusão de elementos de proteção solar (sobre os vãos envidraçados orientados a Sul dos compartimentos cozinha e sala de estar/jantar) e inclusão de paredes trombe ventiladas (em fachadas com orientação Sul dos compartimentos sala de estar/jantar e quarto 1).

Como apoio ao dimensionamento dos elementos de proteção solar recorreu-se ao software Climate Consultant 6.0. De modo a obter o coeficiente de transmissão térmica, o fator solar e o coeficiente de transmissão luminosa dos vãos envidraçados a incluir na simulação, recorreu-se ao software Window 7.4.

Na simulação 2, referente à alteração dos vãos envidraçados, vidro duplo incolor por vidro duplo baixo emissivo, verificamos que, tanto para o Verão, como para o Inverno, o vidro duplo baixo emissivo colocado, reduz a transmissão direta da energia solar para o interior do compartimento; isto porque os revestimentos baixo-emissivos, refletem mais a radiação neles incidente, limitando a entrada de energia solar, sendo isto uma situação favorável para os meses de Verão em todos os compartimentos. Conclui-se que a aplicação de um vidro com capas de baixa emissividade pode em determinadas orientações solares contribuir negativamente para o desempenho térmico global do edifício. De facto a diminuição do coeficiente de transmissão térmica do envidraçado pode não compensar a diminuição do seu fator solar, pois apesar de o baixo valor do coeficiente de transmissão térmica aumentar a resistência à

condução de calor diminuindo o valor das perdas térmicas, o valor mais baixo para o fator solar reduz o aproveitamento dos ganhos solares na estação de aquecimento aumentando significativamente as necessidades de aquecimento para este período.

Na simulação 3, referente à inclusão dos elementos de proteção solar (palas horizontais) sobre os vãos envidraçados orientados a Sul dos compartimentos cozinha e sala de estar/jantar, verificamos que, a inclusão dos elementos de proteção solar reduzem de modo significativo os ganhos de calor dos compartimentos através da radiação solar que atravessa os vãos envidraçados. No verão, verifica-se para ambos os compartimentos um aumento da percentagem de horas com temperaturas dentro do intervalo de conforto. Para o compartimento da cozinha, verificamos no Inverno uma redução da percentagem de horas com temperaturas dentro do intervalo de conforto (exceto em Novembro onde se verifica um aumento). Para o compartimento da sala de estar/jantar, verificamos que no Inverno a percentagem de horas com temperaturas dentro do intervalo de conforto se mantém (exceto no mês de Fevereiro, onde se verifica um aumento).

Na simulação 4, referente à inclusão de duas paredes trombe (1 e 2) na sala de estar/jantar (na fachada Sul), foram testados dois sistemas de paredes trombe, a parede trombe ventilada e a parede trombe não ventilada. Ambas apresentavam a mesma caracterização construtiva, sendo que a única diferença entre estas consistia na colocação das aberturas de termocirculação no sistema de parede trombe ventilada. Das simulações concluiu-se que, com a inclusão das paredes trombe ventiladas conseguiu-se obter maior percentagem de horas com temperaturas dentro do intervalo de conforto no interior do compartimento sobretudo no Inverno. No entanto, no Verão estas obtiveram resultados semelhantes. Já no Outono e Primavera, as paredes trombe não ventiladas conseguiram maior percentagem de horas com temperaturas dentro do intervalo de conforto no interior do compartimento, podendo então concluir-se, que a situação ideal para a presente simulação, seria a de considerar as paredes trombe ventiladas 1 e 2 com as aberturas de termocirculação encerradas no Outono e Primavera. Contudo, para ambos os sistemas, conseguiu-se que anualmente estes obtivessem a mesma percentagem de horas em que a temperatura do compartimento se situasse dentro do intervalo de conforto.

Na simulação 5, referente à inclusão de uma parede trombe 3 no quarto 1 (na fachada Sul), foram testados dois sistemas de paredes trombe, a parede trombe ventilada e a parede trombe não ventilada. Ambas apresentavam a mesma caracterização construtiva, sendo que a única diferença entre estas consistia na colocação das aberturas de termocirculação no sistema de parede trombe ventilada. À semelhança do que acontecia na simulação 4, concluiu-se que, com a inclusão da parede trombe ventilada 3, conseguiu-se obter maior percentagem de horas com temperaturas dentro do intervalo de conforto no interior do compartimento sobretudo no Inverno. No entanto, na Primavera e Outono, ambos os sistemas obtiveram resultados semelhantes. Já no Verão, a parede trombe não ventilada 3 conseguiu maior percentagem de horas com temperaturas dentro do intervalo de conforto no interior do compartimento, comparativamente à parede trombe ventilada 3. Contudo, verificamos que anualmente, a parede trombe ventilada 3, obteve maior percentagem de horas com temperaturas dentro do intervalo de conforto, comparativamente à parede trombe não ventilada 3.

Na simulação 6, referente à inclusão de parede trombe não ventilada 4 no alçado sul, sobre platibanda do volume mais alto do edifício, é de evidenciar que, comparativamente à situação anterior à inclusão desta, para o quarto 1, obteve-se anualmente um aumento da percentagem de horas com temperaturas dentro do intervalo de conforto; contudo, na instalação sanitária (quarto 1) obteve-se anualmente uma redução da percentagem de horas com temperaturas dentro do intervalo de conforto.

Na simulação 7, referente à inclusão das estratégias mais favoráveis, por forma a adquirir maior conforto no interior do edifício, ou seja, temperaturas no interior entre os 18°C e 25°C, foram consideradas as

estratégias que apresentavam maior percentagem de horas com temperaturas dentro do intervalo de conforto, sendo por este motivo incluídas as simulações: 2, 3, 4.1 e 5.1.

De um modo geral, foi muito claro que a inclusão das paredes trombe ventiladas 1, 2 e 3; contribuiu para o conforto no interior dos compartimentos da sala de estar/jantar e quarto 1. Verificam-se, para a sala de estar/jantar e quarto 1, melhorias significativas nas quatro estações. Contudo, para a sala de estar/jantar, é na Primavera, no Outono e no Verão, que se evidenciam melhorias mais significativas relativamente às temperaturas dentro do intervalo de conforto estipulado (18°C a 25°C). Relativamente, ao quarto 1, é no Verão e no Inverno, que se salientam melhorias mais significativas.

Relativamente à alteração dos vãos envidraçados, os vidros duplos baixo emissivos colocados, reduziram a transmissão direta da energia solar para o interior do compartimento (isto porque os revestimentos baixo-emissivos, refletem mais a radiação neles incidente, limitando a entrada de energia solar), contribuindo assim, para melhorias significativas, relativamente às temperaturas dentro do intervalo de conforto estipulado (18°C a 25°C) no Verão; sem comprometer de modo abrupto o Inverno.

No que se refere à inclusão das palas de sombreamento nos vãos envidraçados orientados a Sul, associados aos compartimentos da cozinha e sala de estar/jantar; estas contribuíram para melhorias sobretudo nos meses de Verão, Primavera e Outono; sem comprometer as temperaturas no interior dos compartimentos no Inverno.

A figura 5.1, apresenta, para todos os meses do ano, a percentagem de horas em que a temperatura ($^{\circ}\text{C}$) no interior do compartimento se situa no intervalo de conforto (18°C a 25°C) para os compartimentos que foram alvo de análise, antes (Simulação 1) e após a inclusão das melhores estratégias passivas (Simulação 7).

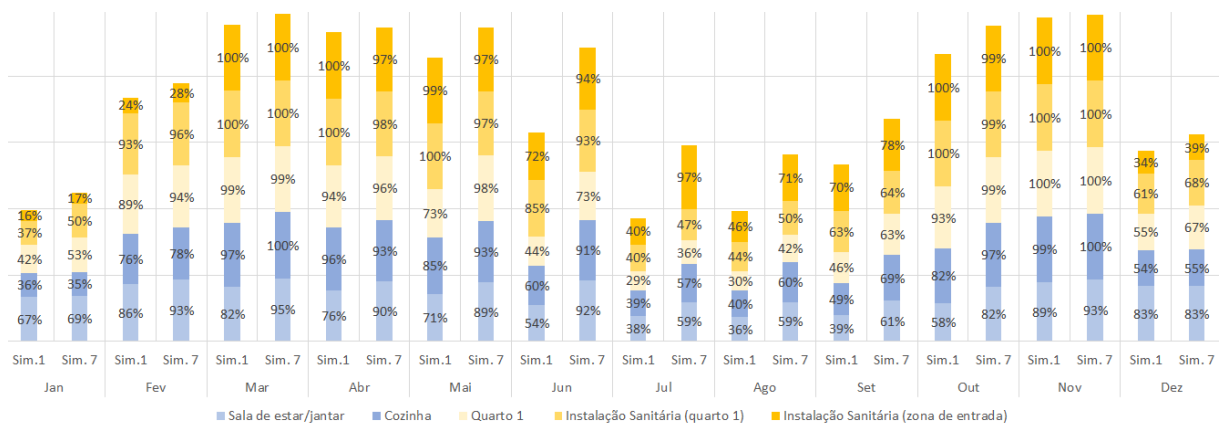


Figura 5.1 - Percentagem de horas em que a temperatura ($^{\circ}\text{C}$) no interior dos compartimentos se situa no intervalo de conforto (18°C a 25°C), para todos os meses do ano

De um modo geral, foi notável que a inclusão de todas as estratégias contribuíram para um aumento da percentagem de horas em que a temperatura ($^{\circ}\text{C}$) no interior do compartimento se situasse no intervalo de conforto (18°C a 25°C), contudo apenas a Cozinha (em Janeiro e Abril) e as instalações sanitárias (em Maio e Outubro) é que apresentam redução relativamente à simulação 1.

Exposto isto, concluiu-se que através da adoção de sistemas passivos é possível reduzir as necessidades energéticas nos edifícios e aumentar o conforto. No edifício referente ao caso de estudo, a inclusão das paredes trombe ventiladas, a alteração dos vãos envidraçados e a inclusão de elementos de proteção solar (palas horizontais) sobre vãos envidraçados orientados a Sul, permitiu uma redução das necessidades energéticas para aquecimento (em cerca de 36,96%) e das necessidades energéticas para arrefecimento (em cerca de 19,02%).

5.1.2. CONCLUSÕES GERAIS

Em Portugal, a melhoria da qualidade geral dos edifícios passa pelo cuidadoso isolamento das coberturas bem como a correção das pontes térmicas, para conseguir o desempenho térmico mínimo. Para melhorar a qualidade térmica e estar de acordo com a regulamentação, poderá implementar-se uma abordagem solar passiva com a adoção de algumas soluções nos projetos e/ou nas construções existentes, tais como [48]:

- **Em fase de projeto:** uma correta orientação dos edifícios e seleção do posicionamento das janelas;
- **Em obras existentes:** mantendo a arquitetura tradicional /original e isolando paredes e selecionando a boa orientação dos envidraçados;

Deverá, também, ser desenvolvida em fase de projeto uma estratégia global (para evitar, nomeadamente, o sobreaquecimento por radiação que é situação mais problemática), como a que Rafael Serra preconiza para os climas temperados (como é o nosso), de acordo com as seguintes etapas:

Quadro 5.1 – Estratégia global de projeto [49]

Medidas Indicativas	
1º Etapa	Evitar ao máximo a incidência da radiação solar direta sobre o edifício e a entrada da mesma nos espaços interiores, colocando, por exemplo, barreiras de vegetação a Este e Oeste, orientando o edifício a norte e a sul, evitando aberturas a oeste ou zenitais, protegendo com palas ou beirados a fachada sul e com persianas as aberturas onde incida o Sol.
2º Etapa	Evitar a entrada de radiação refletida provinda de qualquer direção, para o que, é necessário prever sistemas que bloqueiem a entrada de calor, permitindo a ventilação e a entrada de luz de modo controlável.
3º Etapa	Em resultado das anteriores, reduzir ao máximo a penetração no interior de radiações reemitidas de qualquer tipo, para o que é necessário prever isolamento térmico, proteções às aberturas, e prever caixas-de-ar em paredes, as quais, tais como as coberturas e de uma maneira geral a envolvente exterior, devem ter acabamentos exteriores claros. Como é especialmente crítica a entrada de calor pela cobertura, devem prever-se soluções de isolamento térmico (que podem, em algumas soluções, ser complementadas com desvão ventilado) eficazes que impeçam o seu aquecimento.
Regra Geral	É benéfico para qualquer edifício no Verão, bloquear a radiação logo que possível, facto que revela ser, uma melhoria térmica significativa.

As soluções arquitetónicas necessárias para conseguir um adequado ambiente interior, são complexas, sobretudo se se pretende solucionar o caso de Inverno, crítico em qualquer clima temperado, sem empobrecer o comportamento térmico do edifício no Verão, época em que algumas das soluções de Inverno atuam negativamente nas condições térmicas interiores.

Deste modo, há que ter em conta, que estas soluções são, na maioria das vezes relativamente complexas, que obrigam ao projeto cuidadoso visto que, posteriormente, é mais difícil fazer funcionar soluções corretivas.

No Inverno, as soluções arquitetónicas a seguir passam por [49]:

- Forma geral do edifício compacta, evitando saliências e reentrâncias (que aumentam a superfície de perdas) e favorecendo o desenvolvimento de fachadas orientadas entre Sudeste e Sudoeste, em detrimento de outras orientações;
- Caixilharias com estanquidade relativamente elevada mas com possibilidades de ventilação, renovando o ar dos locais sem que a corrente incida sobre os ocupantes. A disposição das aberturas deve procurar evitar os ventos frios pois são mais adequadas as orientações com brisas suaves e frequentes;
- No período noturno é indispensável a utilização de um sistema de oclusão que minimize as perdas de calor. As proteções exteriores são essenciais para diminuir as perdas para o exterior durante a noite, no Inverno, quando as temperaturas exteriores diminuem.

No Verão, as soluções arquitetónicas a seguir passam por:

- Assegurar a possibilidade de saída do ar na parte mais alta de cada local e do edifício no seu conjunto, com uma secção de passagem adequada;
- Assegurar uma ou várias entradas de ar pela parte inferior dos locais que provenha, se possível, de zonas exteriores, bem como será conveniente prever aberturas que comuniquem pelo menos com zonas exteriores em condições de temperatura e de vento distintas, para permitir uma ventilação cruzada;
- Proteções solares móveis nas janelas, salientando a maior eficácia das proteções exteriores face às interiores;
- Inclusão de elementos de sombreamento, como palas horizontais e/ou verticais sobre vãos envidraçados orientados entre Sudeste e Sudoeste.

5.2. POSSÍVEIS DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

Para possíveis desenvolvimentos futuros deste trabalho apresentam-se as seguintes sugestões:

- Realização de mais cenários relativamente à parede trombe, nomeadamente diferentes áreas de parede de trombe, diferentes materiais, diferentes espessuras;
- Realização de mais cenários relativamente a outras localidades;
- Estudo mais aprofundado relativamente à ventilação natural, com recurso à metodologia proposta pela NP1037 – 1.
- Inclusão de outras estratégias solares passivas, de aquecimento, de arrefecimento, ou ambas.

BIBLIOGRAFIA

- [1] <http://www.energiaportugal.pt/pt/energia-em-portugal>. 04/04/2016.
- [2] <http://www.adene.pt/politica-energetica>. 10/03/2016.
- [3] Mendonça, P. *Habitar sob uma segunda pele: estratégias para a redução do impacto ambiental de construções solares passivas em climas temperados*. Dissertação de Doutoramento, Universidade do Minho, 2005.
- [4] Olgyay, V. *Arquitectura y clima: manual del diseño bioclimático para arquitectos y urbanistas*. Gustavo Gili S. A., Barcelona, 2009.
- [5] <https://thaa2.wordpress.com/category/daniel-rodrigues-pascoal/>. 15/02/2016.
- [6] <http://www.abc-france.com/villes/66202-targassonne/>. 22/03/2016.
- [7] http://art-utile.blogspot.pt/2012_10_01_archive.html . 24/03/2016.
- [8] <http://www.adeporto.eu/cto.php>. 26/03/2016.
- [9] http://arquitectologia.org/CSPVR_PTnv_1.pdf. 18/05/2016.
- [10] Gonçalves, H., Graça, J.M.. *Conceitos bioclimáticos para os edifícios em Portugal*. DGGE/IP-3E, Lisboa, 2004.
- [11] http://www.tironenunes.pt/index.php?option=com_content&view=article&id=109&Itemid=78. 11/05/2016.
- [12] <http://www.dryvit.pt/premiodge.htm>. 03/03/2016.
- [13] Bragança, L., Silva, N., De Aguiar, B., Sousa, A., Santos, J.. *Seminário: Contribuição das Argamassas para o Desempenho Térmico dos Edifícios*. Associação Portuguesa dos Fabricantes de Argamassas de Construção, 12/11/2012, Universidade do Minho, Guimarães.
- [14] <http://www.archdaily.com/6657/house-in-romeirao-arx>. 05/04/2016.
- [15] <http://www.archdaily.com/119742/casa-na-areia-aires-mateus>. 26/03/2016.
- [16] <http://www.slideshare.net/susybarreiros/1-variabilidade-da-radiao-solar>. 22/02/2016.
- [17] Santos, F.D., Forbes, K., Moita, R. *Climate Change in Portugal: Scenarios, Impacts and Adaptation Measures (SIAM Project)*. Gradiva Publicações Lda., Lisboa, 2002.
- [18] <https://dre.pt/application/dir/pdf2sdip/2013/12/234000003/0002600031.pdf>. 09/04/2016.
- [19] Cunha, M. *Vãos Envidraçados: Geometria de Insolação-Otimização do dimensionamento de elementos de proteção solar*. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2005.
- [20] <https://folhaazero.wordpress.com/2008/10/19/trabalhando-com-carta-solar/>. 04/04/2016.
- [21] <http://www.aguaquentesolar.pt/casa.html>. 27/05/2016.
- [22] Musy, M., Wurtz, E., Winkelmann, F., Allard, F.. *Generation of a Zonal Model to Simulate Natural Convection in a Room With Radiative/Convective Heater, Building and Environment*. Elsevier science Ltd, 2001.

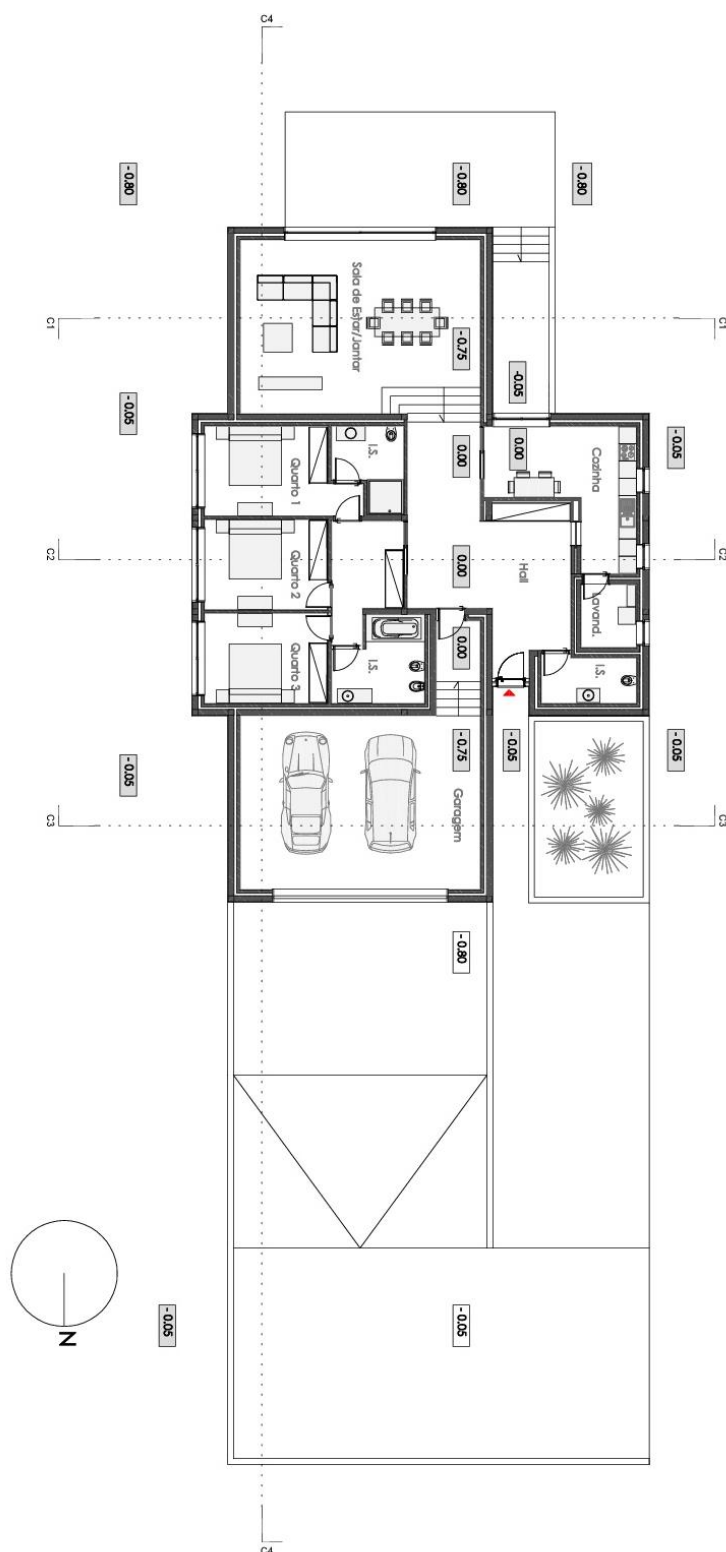
- [23] Silva, J. M. B.. *A Ventilação natural como melhoria do desempenho energético de edifícios residenciais*. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Ciências e Tecnologia, 2012.
- [24] Santos, J.. *Avaliação experimental dos níveis de qualidade do ar interior em quartos de dormir*. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Lisboa, 2008.
- [25] NP 1037-1 (2002), Ventilação e Evacuação dos Produtos da Combustão dos Locais com Aparelhos a Gás. Parte 1: Edifícios de Habitação. Ventilação Natural, IPQ, Monte da Caparica.
- [26] Moita, F.. *Energia Solar Passiva*. Argumentum, Lisboa, 2010.
- [27] Hegger, M., Fuchs, M., Stark, T., Zeumer, M.. *Energy Manual Sustainable Architecture*. Birkhauser Architecture. Edition Detail, 2008.
- [28] Freitas, V.. *Metodologia para a Selecção Exigencial de Isolantes Térmicos*. Laboratório de Física das Construções, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 1997.
- [29] Pereira, P. C., *ASHRAE: Handbook of Fundamentals*. American Society of Heating, Refrigeration and Air-Conditioning Engineers, Inc. Atlanta, 1997.
- [30] Despacho (extrato) n.º 15793-K/2013, Diário da Republica nº234, 3º Suplemento, Série II, 03/12/2013.
- [31] Portaria n.º 379-A/2015, Diário da Republica nº207, Suplemento, Série I, 22/10/2015
- [32] Carmody, J., Selkowitz, S., Hescong, L.. *Residential Windows: A Guide to New Technologies and Energy Performance*. Ilustrada. 1996.
- [33] Ramalheira, F. J. C. . *Manual de boas práticas de escolha de vãos envidraçados*. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2005.
- [34] Moret Rodrigues, A.; Canha da Piedade, A.; Braga, A. M.. *Termica de Edifícios*. Orion, Amadora, 2009.
- [35] Portaria n.º 349-B/2013, Diário da Republica nº232, Suplemento, Série I, 29/11/2013
- [36] Crosbie, M. J.. *The Passive Solar Design and Construction Handbook*. Steven Winter Associates, Inc., New York, 1997.
- [37] Mitjá, A., Esteve, J., Escobar, J. J.. *Estalvi d'energia en el disseny d'edificis*. Generalitat de Catalunya / Departament d'Indústria i Energia, Barcelona, 1986.
- [38] <http://www.yourbuilding.org/library/DES04.pdf>. 22/05/2016.
- [39] <http://www.sustainability.vic.gov.au/search-results?q=Thermal+Mass>. 11/02/2016
- [40] O'Connor, J.. *Tips for daylighting with windows: The Integrated Approach*. Berkeley: Lawrence Berkeley National Laboratory, University of California, 1997.
- [41] Knaack, U., Klein, T.. *The Future Envelope 1 A Multidisciplinary Approach*, vol. 8. Research in Architectural Engineering Series, 2008.
- [42] Goulding, J. R., Lewis, J. O., Steemers, T. C.. *Energy in Architecture, The European Passive Solar Handbook*. The Energy Research Group, School of Architecture, University College Dublin; Batsford for the Commission of the European Communities, London, 1994.
- [43] Serra, R., Coch, H.. *Arquitectura y energía natural*. Edicions U, Barcelona, 1995.
- [44] Lechner, N.. *Heating, Cooling, Lighting: Design Methods for Architect*. 4th Edition, London, 2006.
- [45] <https://www.linkedin.com/pulse/green-buildings-future-mcd-berl>. 05/05/2016

- [46] <http://casaembaiao.blogspot.pt/.17/05/2016>.
- [47] https://pt.wikipedia.org/wiki/NUTS_de_Portugal. 28/04/2016.
- [48] Abrantes, V., Mendes da Silva, R.. *New Portuguese building thermal regulations: a passive and low energy approach*. Architecture & Urban Space, 1991.
- [49] Serra, R.. *Arquitectura y climas*. Editorial Gustavo Gili Básicos, 1999.

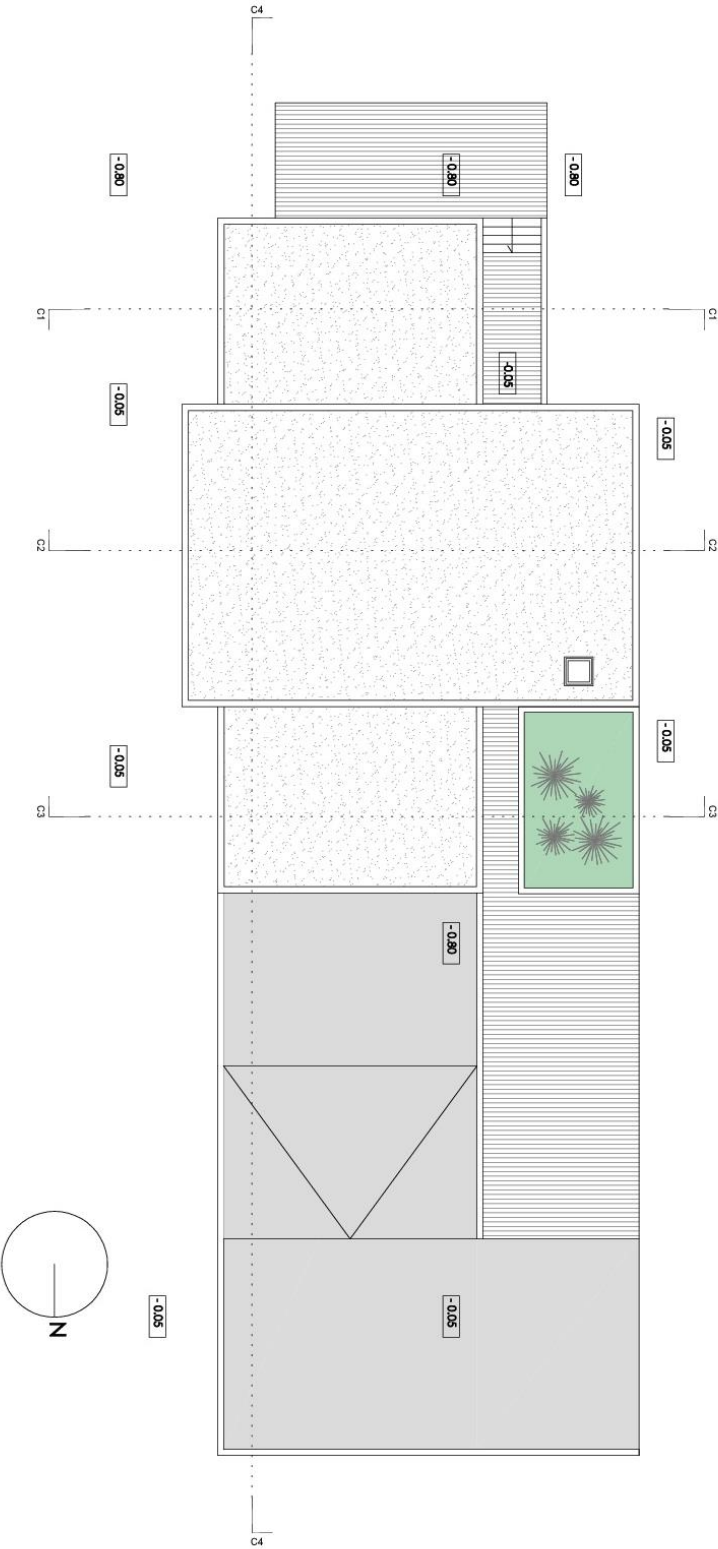
ANEXOS

A. ELEMENTOS GERAIS DA MORADIA PORTAS DO SOL

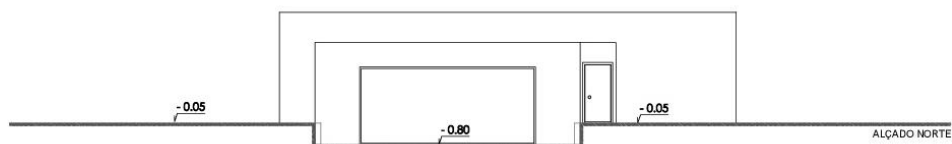
A1. PLANTA PISO 0 DA MORADIA PORTAS DO SOL, ESCALA 1/200



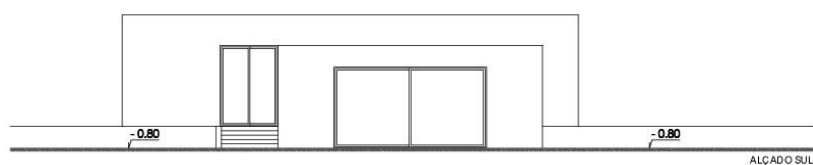
A2.PLANTA PISO COBERTURA DA MORADIA PORTAS DO SOL, ESCALA 1/200



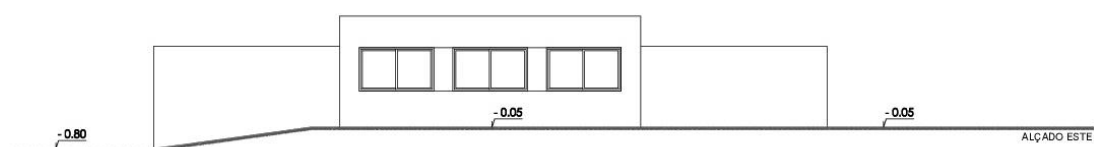
A3. ALÇADO NORTE DA MORADIA PORTAS DO SOL, ESCALA 1/200



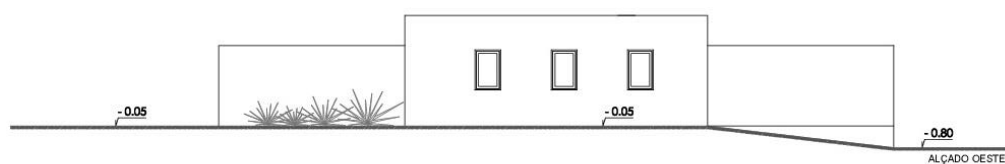
A4. ALÇADO SUL DA MORADIA PORTAS DO SOL, ESCALA 1/200



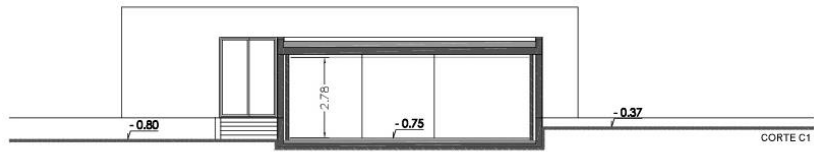
A5. ALÇADO ESTE DA MORADIA PORTAS DO SOL, ESCALA 1/200



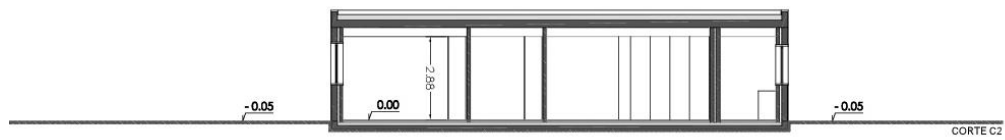
A6. ALÇADO OESTE DA MORADIA PORTAS DO SOL, ESCALA 1/200.



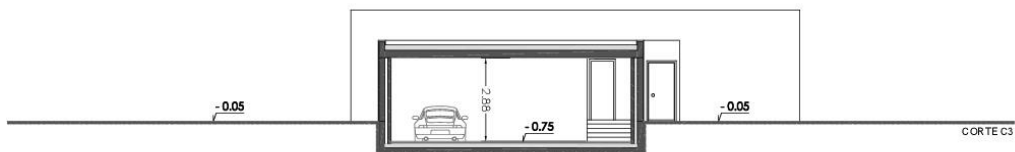
A7.CORTE 1 DA MORADIA PORTAS DO SOL, ESCALA 1/200



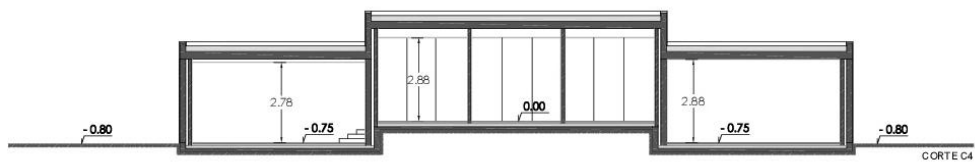
A8.CORTE 2 DA MORADIA PORTAS DO SOL, ESCALA 1/200



A9.CORTE 3 DA MORADIA PORTAS DO SOL, ESCALA 1/200



A10.CORTE 4 DA MORADIA PORTAS DO SOL, ESCALA 1/200



A11. QUADRO DE ÁREAS DA MORADIA PORTAS DO SOL

Divisão	Área da divisão (m ²)	Área de Envidraçados Verticais (m ²)				Área de Envidraçados Horizontais (m ²)	Relação Aenv/Apav (%)
		Norte	Sul	Este	Oeste		
Garagem	56,4	-	-	-	-	-	-
Hall	24,2	-	-	-	-	-	-
Cozinha	18,7	-	5,6	-	3,78	-	50,1
Lavandaria	4,8	-	-	-	0,84	-	17,7
Instalação Sanitária (zona entrada)	5,3	-	-	-	-	1,0	18,9
Sala de estar/jantar	60,2	-	14,84	-	-	-	24,7
Quarto 1	15,2	-	-	3,9	-	-	25,7
Instalação Sanitária (Quarto 1)	6,2	-	-	-	-	-	-
Quarto 2	13,8	-	-	3,9	-	-	28,3
Quarto 3	13,8	-	-	3,9	-	-	28,3
Instalação Sanitária (zona quartos)	8,5	-	-	-	-	-	-
Hall (zona quartos)	8,91	-	-	-	-	-	-
TOTAL	235,9						

B. CARACTERIZAÇÃO CONSTRUTIVA DA MORADIA PORTAS DO SOL**B1. PAREDE EXTERIOR 1**

Parede Exterior 1				
Constituição	d_i [m]	λ [W/(m.°C)]	R_j [(m².°C)/W]	Referência
Reboco tradicional (1900 kg/m³)	0,020	1,300	0,015	ITE50, LNEC
Pilar em betão	0,200	2,000	0,100	ITE50, LNEC
Caixa-de-ar	0,040		0,180	ITE50, LNEC
Poliestireno expandido extrudido - XPS	0,060	0,037	1,622	ITE50, LNEC
Alvenaria tijolo cerâmico furado 11 cm	0,110		0,270	ITE50, LNEC
Gesso projetado	0,020	0,300	0,067	ITE50, LNEC
TOTAL	0,450		2,254	
Ser			0,040	
Rsi			0,130	
Resistência térmica superficial TOTAL			0,170	
			Rtérmica total	2,424
			U (W/m².°C)	0,413

B2. PAREDE EXTERIOR 2

Parede Exterior 2				
Constituição	d_i [m]	λ [W/(m.°C)]	R_j [(m².°C)/W]	Referência
Reboco tradicional (1900 kg/m³)	0,020	1,300	0,015	ITE50, LNEC
Alvenaria tijolo cerâmico furado 20 cm	0,200		0,520	ITE50, LNEC
Caixa-de-ar	0,040		0,180	ITE50, LNEC
Poliestireno expandido extrudido - XPS	0,060	0,037	1,622	ITE50, LNEC
Alvenaria tijolo cerâmico furado 11 cm	0,110		0,270	ITE50, LNEC
Gesso projetado	0,020	0,300	0,067	ITE50, LNEC
TOTAL	0,450		2,674	
Ser			0,040	
Rsi			0,130	
Resistência térmica superficial TOTAL			0,170	
			Rtérmica total	2,844
			U (W/m².°C)	0,352

B3. PAREDE EM CONTATO COM O SOLO 1

Parede em contato com o solo 1				
Constituição	d_i [m]	λ [W/(m.°C)]	R_j [(m².°C)/W]	Referência
Reboco tradicional (1900 kg/m³)	0,020	1,300	0,015	ITE50, LNEC
Alvenaria tijolo cerâmico furado 20 cm	0,200		0,520	ITE50, LNEC
Caixa-de-ar	0,040		0,180	ITE50, LNEC
Poliestireno expandido extrudido - XPS	0,060	0,037	1,622	ITE50, LNEC
Parede em betão	0,200		2,000	ITE50, LNEC
TOTAL	0,520		4,337	
Profundidade média enterrada da parede em contacto com o solo - z (m)	0,432			
Resistência térmica superficial R_w TOTAL				4,337
U_{bw} (W/m².°C) - DL118/2013 de 20 de Agosto, Despacho (extrato) nº 15793-K/2013, tabela 06				0,283

B4. PAREDE EM CONTATO COM O SOLO 2

Parede em contato com o solo 2				
Constituição	d_i [m]	λ [W/(m.°C)]	R_j [(m².°C)/W]	Referência
Reboco tradicional (1900 kg/m³)	0,020	1,300	0,015	ITE50, LNEC
Alvenaria tijolo cerâmico furado 20 cm	0,200		0,520	ITE50, LNEC
Caixa-de-ar	0,040		0,180	ITE50, LNEC
Poliestireno expandido extrudido - XPS	0,060	0,037	1,622	ITE50, LNEC
Parede em betão	0,200		2,000	ITE50, LNEC
TOTAL	0,520		4,337	
Profundidade média enterrada da parede em contacto com o solo - z (m)	0,700			
Resistência térmica superficial R_w TOTAL				4,337
U_{bw} (W/m².°C) - DL118/2013 de 20 de Agosto, Despacho (extrato) nº 15793-K/2013, tabela 06				0,272

B5. PAVIMENTO TÉRREO 1

Pavimento térreo 1 (quartos, sala jantar/estar, corredores, hall)				
Constituição	d_i [m]	λ [W/(m.°C)]	R_j [(m².°C)/W]	Referência
Geotêxtil (300gr/m²)				
Enrocamento: Rachão e brita (2000 kg/m³)	0,150	2,000	0,075	ITE50, LNEC
Betão de Inertes Correntes (2400 kg/m³)	0,050	2,000	0,025	ITE50, LNEC
Betão armado (percentagem de armadura < 1 %)	0,120	2,000	0,060	ITE50, LNEC
Betão de Inertes de Poliestireno Expandido (600 kg/m³)	0,100	0,220	0,455	ITE50, LNEC
Camada de Impermeabilização - duas telas betuminosas	0,008	0,230	0,035	ITE50, LNEC
Poliestireno expandido extrudido - XPS	0,040	0,037	1,081	ITE50, LNEC
Geotêxtil (150gr/m²)				ITE50, LNEC
Caixa-de-ar	0,030		0,194	ITE50, LNEC
Soalho de Madeira	0,020	0,180	0,111	ITE50, LNEC
TOTAL	0,468		2,011	
A_p (m²)			136,110	
P (m)			44,240	
$B = A_p / (0,5 \cdot P)$			6,153	
$Z_{ponderado}$ (m)			-0,150	
U_{bf} (W/m².°C) - DL118/2013 de 20 de Agosto, Despacho (extrato) nº 15793-K/2013, tabela 03				0,267

B6. PAVIMENTO TÉRREO 2

Pavimento Térreo 2 (Cozinha, Instalações sanitárias)				
Constituição	d_i [m]	λ [W/(m.°C)]	R_j [(m².°C)/W]	Referência
Geotêxtil (300gr/m²)				ITE50, LNEC
Enrocamento: Rachão e brita (2000 kg/m³)	0,150	2,000	0,075	ITE50, LNEC
Betão de Inertes Correntes (2400 kg/m³)	0,050	2,000	0,025	ITE50, LNEC
Betão armado (percentagem de armadura < 1 %)	0,120	2,000	0,060	ITE50, LNEC
Betão de Inertes de Poliestireno Expandido (600 kg/m³)	0,100	0,220	0,455	ITE50, LNEC
Camada de Impermeabilização - duas telas betuminosas	0,008	0,230	0,035	ITE50, LNEC
Poliestireno expandido extrudido - XPS	0,040	0,037	1,081	ITE50, LNEC
Geotêxtil (150gr/m²)				ITE50, LNEC
Argamassa de cimento (1800 kg/m³)	0,030	1,300	0,023	ITE50, LNEC
Revestimento Cerâmico	0,020	1,300	0,015	ITE50, LNEC
TOTAL	0,468		1,744	
A_p (m²)			38,700	
P (m)			25,670	
$B' = A_p / (0,5 \cdot P)$			3,015	
$Z_{ponderado}$ (m)			-0,120	
U_{bf} (W/m².°C) - DL118/2013 de 20 de Agosto, Despacho (extrato) nº 15793-K/2013, tabela 03				0,384

B7. PAREDE DE SEPARAÇÃO ESPAÇO NÃO ÚTIL (GARAGEM) /ESPAÇO ÚTIL

Parede de separação espaço não útil (garagem) /espaço útil				
Constituição	d_i [m]	λ [W/(m.°C)]	R_j [(m².°C)/W]	Referência
Reboco tradicional (1900 kg/m³)	0,020	1,300	0,015	ITE50, LNEC
Alvenaria tijolo cerâmico furado 20 cm	0,200		0,520	ITE50, LNEC
Caixa-de-ar	0,040		0,180	ITE50, LNEC
Poliestireno expandido extrudido - XPS	0,040	0,037	1,081	ITE50, LNEC
Alvenaria tijolo cerâmico furado 11 cm	0,110		0,270	ITE50, LNEC
Gesso projetado	0,020	0,300	0,067	ITE50, LNEC
TOTAL	0,430		2,133	
Rse			0,130	
Rsi			0,130	
Resistência térmica superficial TOTAL			0,260	
Rtérmica total				2,393
U (W/m².°C)				0,418

B8. PAREDE DE SEPARAÇÃO ESPAÇO NÃO ÚTIL (LAVANDARIA) /ESPAÇO ÚTIL

Parede de separação espaço não útil (lavandaria) /espaço útil				
Constituição	d_i [m]	λ [W/(m.°C)]	R_j [(m².°C)/W]	Referência
Gesso projetado	0,020	0,300	0,067	ITE50, LNEC
Alvenaria tijolo furado 15 cm	0,150		0,390	ITE50, LNEC
Caixa-de-ar	0,040		0,180	ITE50, LNEC
Poliestireno expandido extrudido - XPS	0,040	0,037	1,081	ITE50, LNEC
Alvenaria tijolo furado 11 cm	0,110		0,270	ITE50, LNEC
Gesso projetado	0,020	0,300	0,067	ITE50, LNEC
TOTAL	0,380		2,054	
Rse			0,130	
Rsi			0,130	
Resistência térmica superficial TOTAL			0,260	
			Rtérmica total	2,314
			U (W/m².°C)	0,432

B9. COBERTURA 1

Cobertura Plana 1				
Constituição	d_i [m]	λ [W/(m.°C)]	R_j [(m².°C)/W]	Referência
Godo	0,050	2,000	0,025	ITE50, LNEC
Feltro Geotêxtil	0,002			ITE50, LNEC
Poliestireno expandido extrudido - XPS	0,060	0,037	1,622	ITE50, LNEC
Camada de Impermeabilização - duas telas betuminosas	0,008	0,230	0,035	ITE50, LNEC
Betão de Inertes de Poliestireno Expandido (600 kg/m³)	0,080	0,220	0,364	ITE50, LNEC
Laje aligeirada	0,250		0,300	ITE50, LNEC
Caixa-de-ar	0,100		0,150	ITE50, LNEC
Placas de gesso cartonado	0,015	0,250	0,060	ITE50, LNEC
TOTAL	0,565		2,555	
Rse			0,040	
Rsi			0,100	
Resistência térmica superficial TOTAL			0,140	
Rtérmica total				2,695
U (W/m².°C)				0,371

B10. COBERTURA 2

Cobertura plana 2				
Constituição	d_i [m]	λ [W/(m.°C)]	R_j [(m².°C)/W]	Referência
Godo	0,050	2,000	0,025	ITE50, LNEC
Feltro Geotextil	0,002			ITE50, LNEC
Poliestireno expandido extrudido - XPS	0,060	0,037	1,622	ITE50, LNEC
Camada de Impermeabilização - duas telas betuminosas	0,008	0,230	0,035	ITE50, LNEC
Betão de Inertes de Poliestireno Expandido (600 kg/m³)	0,080	0,220	0,364	ITE50, LNEC
Laje aligeirada	0,250		0,300	ITE50, LNEC
Caixa de ar	0,300		0,160	ITE50, LNEC
Placas de gesso cartonado	0,015	0,250	0,060	ITE50, LNEC
TOTAL	0,765		2,565	
Rse			0,040	
Rsi			0,100	
Resistência térmica superficial TOTAL			0,140	
Rtérmica total				2,705
U (W/m².°C)				0,370

B11. VÃOS ENVIDRAÇADOS VERTICAIS – COEFICIENTE DE TRANSMISSÃO TÉRMICA DO VÃO ENVIDRAÇADO (U_w), RESULTADOS OBTIDOS PELO SOFTWARE WINDOW 7.4.

Vão	Tipo de vidro	Esp [m]		Descrição Janela	Dim. (largura x altura)	T _{vis}	g _⊥	U _w [W/(m ² .C°)]
VEV_1	Duplo incolor	vidro	6	Janela de correr com caixilharia de alumínio, com corte térmico.	2,60 x 1,50	0,692	0,742	3,206
		ar	16					
		vidro	6					
VEV_2	Duplo incolor	vidro	6	Janela de correr com caixilharia de alumínio, com corte térmico.	2,60 x 1,50	0,692	0,742	3,206
		ar	16					
		vidro	6					
VEV_3	Duplo incolor	vidro	6	Janela de correr com caixilharia de alumínio, com corte térmico.	2,60 x 1,50	0,692	0,742	3,206
		ar	16					
		vidro	6					
VEV_4	Duplo incolor	vidro	6	Janela de correr com caixilharia de alumínio, com corte térmico.	5,30 x 2,80	0,744	0,750	2,967
		ar	16					
		vidro	6					
VEV_5	Duplo incolor	vidro	6	Janela de correr com caixilharia de alumínio, com corte térmico.	2,00 x 2,80	0,703	0,744	3,162
		ar	16					
		vidro	6					
VEV_6	Duplo incolor	vidro	6	Janela com abertura tipo oscilo-batente, com caixilharia de alumínio, com corte térmico.	0,90 x 1,40	0,643	0,735	3,410
		ar	16					
		vidro	6					
VEV_7	Duplo incolor	vidro	6	Janela com abertura tipo oscilo-batente, com caixilharia de alumínio, com corte térmico.	0,90 x 1,40	0,643	0,735	3,410
		ar	16					
		vidro	6					
VEV_8	Duplo incolor	vidro	6	Janela com abertura tipo oscilo-batente, com caixilharia de alumínio, com corte térmico.	0,90 x 1,40	0,643	0,735	3,410
		ar	16					
		vidro	6					

B12. VÃOS ENVIDRAÇADOS VERTICAIS – COEFICIENTE DE TRANSMISSÃO TÉRMICA MÉDIO DIA-NOITE DO VÃO ENVIDRAÇADO (Uwdn)

Vão	Uw [W/(m².C°)]	Dispositivo de oclusão noturna	ΔR [m².k/W] Permeabilidade ao ar média	ΔR [m².k/W]	Un [W/(m².C°)]	Uwdn [W/(m².C°)]
VEV_1	3,206	Estore de enrolar de plástico com preenchimento de espuma	0,19	0,190	1,992	2,599
VEV_2	3,206	Estore de enrolar de plástico com preenchimento de espuma	0,19	0,190	1,992	2,599
VEV_3	3,206	Estore de enrolar de plástico com preenchimento de espuma	0,19	0,190	1,992	2,599
VEV_4	2,967	Estore de enrolar de plástico com preenchimento de espuma	0,19	0,190	1,897	2,432
VEV_5	3,162	Estore de enrolar de plástico com preenchimento de espuma	0,19	0,190	1,975	2,569
VEV_6	3,410	Estore de enrolar de plástico com preenchimento de espuma	0,19	0,190	2,069	2,740
VEV_7	3,410	Estore de enrolar de plástico com preenchimento de espuma	0,19	0,190	2,069	2,740
VEV_8	3,410	Estore de enrolar de plástico com preenchimento de espuma	0,19	0,190	2,069	2,740

CÁLCULO DE Uwdn

$$Uwdn = \frac{Uw + Un}{2} \quad [W/(m^2.C^{\circ})]$$

$$Un = \frac{1}{\frac{1}{Uw} + \Delta R} \quad [W/(m^2.C^{\circ})]$$

Onde:

- Uwdn - coeficiente de transmissão térmica médio dia-noite. Inclui a contribuição dos eventuais dispositivos de oclusão noturna;
- Uw - Coeficiente de transmissão térmica do vão envidraçado;
- ΔR - Resistência térmica adicional para permeabilidade ao ar específica de estores.

B13. VÃOS ENVIDRAÇADOS HORIZONTAIS – COEFICIENTE DE TRANSMISSÃO TÉRMICA DO VÃO ENVIDRAÇADO (U_w), RESULTADOS OBTIDOS PELO SOFTWARE WINDOW 7.4

Vão	Tipo de vidro	Esp. [mm]	Descrição Janela	Dim. [largura x altura]	Tvis	g _L .	U_w [W/(m ² .C°)]
VEH_1	Duplo incolor	vidro 6	Claraboia com caixilharia fixa de alumínio, com corte térmico.	1,0 x 1,0	0,629	0,733	3,469
		ar 16					
		vidro 6					

B14. PORTAS

Designação	U [W/m ² .C°]
Porta Exterior em madeira maciça (4cm)	2,51
Portas Interior em madeira maciça (4cm)	2,51

C. CONCEITOS RELATIVOS AO SOFTWARE DESIGN BUILDER

Air Temperature (°C) – Temperatura do ar no compartimento.

Radiant Temperature (°C) – Temperatura média radiante no compartimento (MRT), assumindo que a pessoa está no centro da zona sem ponderação para qualquer superfície em particular.

Operative Temperature (°C) – Média entre a temperatura do ar e a temperatura radiante.

Outside Dry-Bulb Temperature (°C) – Temperatura exterior sem o efeito da humidade e radiação.

Glazing (Wh/m²) – trocas de calor com o compartimento a partir do envidraçado, caixilharia e divisor do vidro exterior, excluindo a radiação solar de onda curta (é tida em conta em Solar Gains Exterior Windows) .

Walls (Wh/m²) – trocas de calor com o compartimento devido à transmissão através de todas as paredes externas incluindo o efeito da radiação solar.

Ground Floor (Wh/m²) – trocas de calor com o compartimento por transmissão através do pavimento.

Roofs (Wh/m²) – trocas de calor com o compartimento por transmissão através de todas as coberturas externas, incluindo o efeito da radiação solar.

External Infiltration (Wh/m²) – trocas de calor com o compartimento através da infiltração de ar (entrada de ar não convencional).

External Ventilation (Wh/m²) – trocas de calor com o compartimento através da ventilação natural conforme definido no guia AVAC ao usar a opção de ventilação natural simples (equivalente por exemplo a abertura de janelas).

Occupancy (Wh/m²) – ganho de calor devido à ocupação do edifício.

Computer and equipment (Wh/m²) – ganho de calor devido a computadores e equipamentos.

General lighting (Wh/m²) – ganho de calor devido à iluminação geral.

Solar Gains Exterior Windows (Wh/m²) – ganho de calor devido à radiação solar que passa através do envidraçado.

Heating (Wh/m²) – energia para aquecimento fornecida pelo sistema de climatização.

Cooling (Wh/m²) – energia para arrefecimento fornecida pelo sistema de climatização.

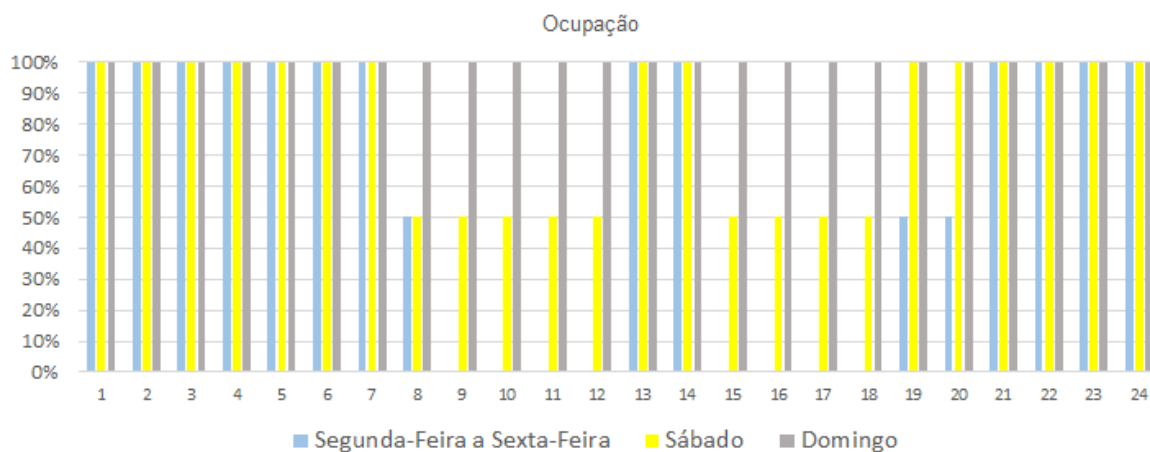
Trombe Wall: conduction (Wh/m²) – trocas de calor com o compartimento por transmissão através da parede acumuladora em betão, que faz parte integrante da parede trombe (ventilada ou não ventilada).

Trombe Wall: convection (Wh/m²) – trocas de calor com o compartimento por ventilação através das aberturas de termocirculação que são parte integrante da parede trombe (ventilada).

Nota: Os gráficos do balanço térmico, referem-se às trocas de calor dos vários elementos construtivos com o ambiente interior, sendo que os valores positivos representam os ganhos que o ambiente interior adquire através de determinado elemento construtivo, e os valores negativos representam as perdas que o ambiente interior detêm através de determinado elemento construtivo.

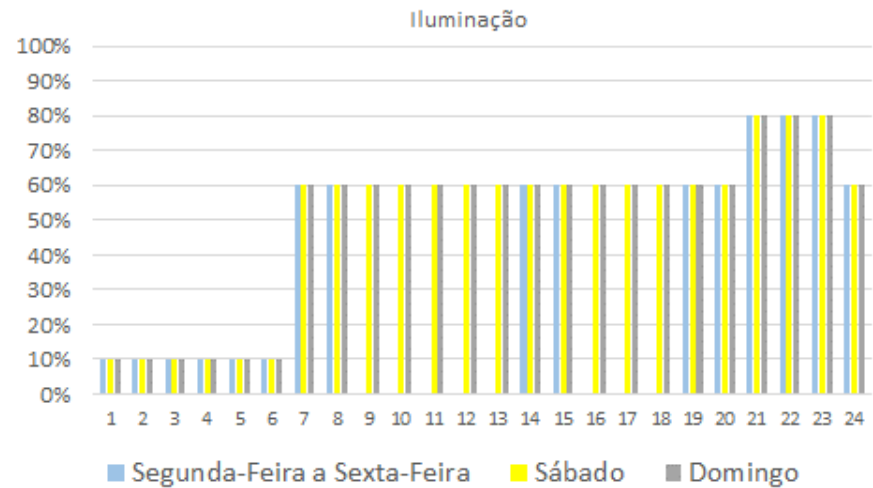
D. HORÁRIOS E PERFIS DE UTILIZAÇÃO DA MORADIA PORTAS DO SOL**D1. OCUPAÇÃO**

Ocupação				
0,017 pessoas /m ²				
% Ocupação				
		Segunda-feira a Sexta-feira	Sábados	Domingos
00:00 h	01:00 h	100%	100%	100%
01:00 h	02:00 h	100%	100%	100%
02:00 h	03:00 h	100%	100%	100%
03:00 h	04:00 h	100%	100%	100%
04:00 h	05:00 h	100%	100%	100%
05:00 h	06:00 h	100%	100%	100%
06:00 h	07:00 h	100%	100%	100%
07:00 h	08:00 h	50%	50%	100%
08:00 h	09:00 h	0%	50%	100%
09:00 h	10:00 h	0%	50%	100%
10:00 h	11:00 h	0%	50%	100%
11:00 h	12:00 h	0%	50%	100%
12:00 h	13:00 h	100%	100%	100%
13:00 h	14:00 h	100%	100%	100%
14:00 h	15:00 h	0%	50%	100%
15:00 h	16:00 h	0%	50%	100%
16:00 h	17:00 h	0%	50%	100%
17:00 h	18:00 h	0%	50%	100%
18:00 h	19:00 h	50%	100%	100%
19:00 h	20:00 h	50%	100%	100%
20:00 h	21:00 h	100%	100%	100%
21:00 h	22:00 h	100%	100%	100%
22:00 h	23:00 h	100%	100%	100%
23:00 h	24:00 h	100%	100%	100%



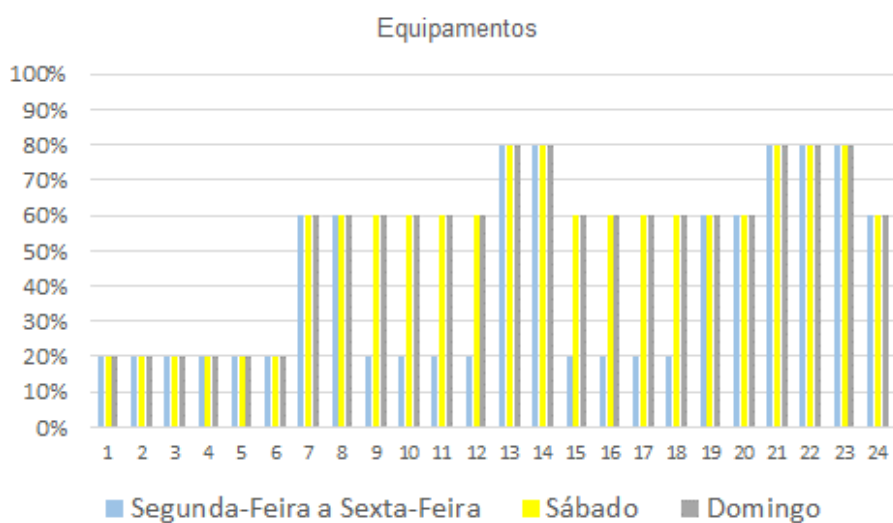
D2. ILUMINAÇÃO

Iluminação				
2,20 W/m ²				
% Iluminação				
Segunda-feira a Sexta-feira			Sábados	Domingos
00:00 h	01:00 h	10%	10%	10%
01:00 h	02:00 h	10%	10%	10%
02:00 h	03:00 h	10%	10%	10%
03:00 h	04:00 h	10%	10%	10%
04:00 h	05:00 h	10%	10%	10%
05:00 h	06:00 h	10%	10%	10%
06:00 h	07:00 h	60%	60%	60%
07:00 h	08:00 h	60%	60%	60%
08:00 h	09:00 h	0%	60%	60%
09:00 h	10:00 h	0%	60%	60%
10:00 h	11:00 h	0%	60%	60%
11:00 h	12:00 h	0%	60%	60%
12:00 h	13:00 h	0%	60%	60%
13:00 h	14:00 h	60%	60%	60%
14:00 h	15:00 h	60%	60%	60%
15:00 h	16:00 h	0%	60%	60%
16:00 h	17:00 h	0%	60%	60%
17:00 h	18:00 h	0%	60%	60%
18:00 h	19:00 h	60%	60%	60%
19:00 h	20:00 h	60%	60%	60%
20:00 h	21:00 h	80%	80%	80%
21:00 h	22:00 h	80%	80%	80%
22:00 h	23:00 h	80%	80%	80%
23:00 h	24:00 h	60%	60%	60%



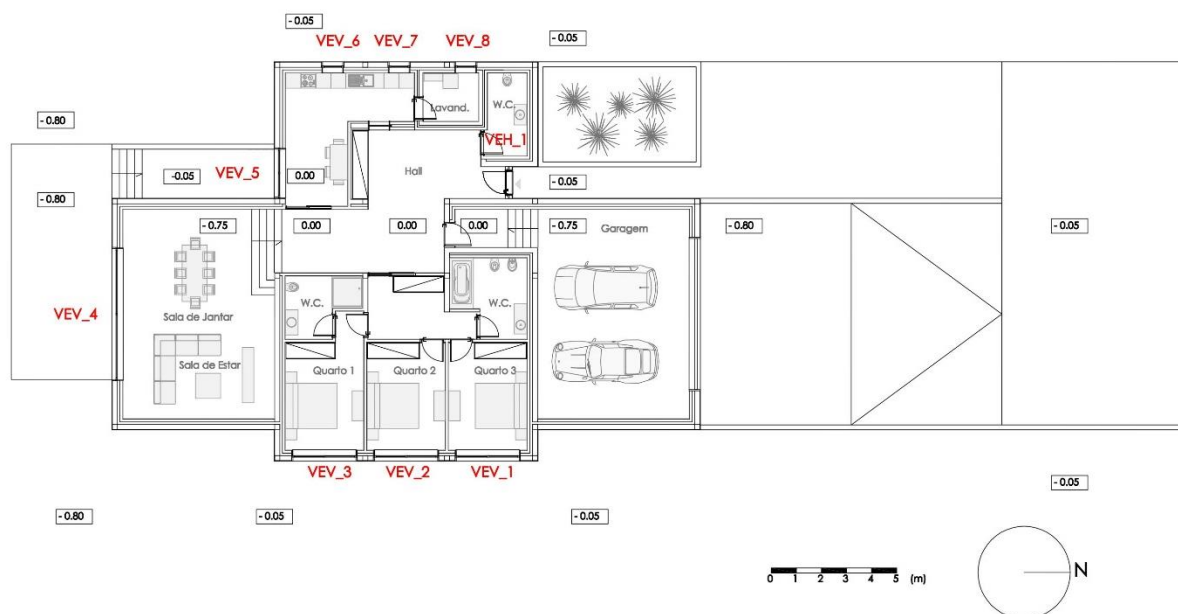
D3.EQUIPAMENTO

Equipamentos				
2,20 W/m ²				
% Equipamentos				
		Segunda-feira a Sexta-feira	Sábados	Domingos
00:00 h	01:00 h	20%	20%	20%
01:00 h	02:00 h	20%	20%	20%
02:00 h	03:00 h	20%	20%	20%
03:00 h	04:00 h	20%	20%	20%
04:00 h	05:00 h	20%	20%	20%
05:00 h	06:00 h	20%	20%	20%
06:00 h	07:00 h	60%	60%	60%
07:00 h	08:00 h	60%	60%	60%
08:00 h	09:00 h	20%	60%	60%
09:00 h	10:00 h	20%	60%	60%
10:00 h	11:00 h	20%	60%	60%
11:00 h	12:00 h	20%	60%	60%
12:00 h	13:00 h	80%	80%	80%
13:00 h	14:00 h	80%	80%	80%
14:00 h	15:00 h	20%	60%	60%
15:00 h	16:00 h	20%	60%	60%
16:00 h	17:00 h	20%	60%	60%
17:00 h	18:00 h	20%	60%	60%
18:00 h	19:00 h	60%	60%	60%
19:00 h	20:00 h	60%	60%	60%
20:00 h	21:00 h	80%	80%	80%
21:00 h	22:00 h	80%	80%	80%
22:00 h	23:00 h	80%	80%	80%
23:00 h	24:00 h	60%	60%	60%



E. SIMULAÇÃO 2: ALTERAÇÃO DE VÃOS ENVIDRAÇADOS

E1. PLANTA COM INDICAÇÃO DOS VÃOS ENVIDRAÇADOS

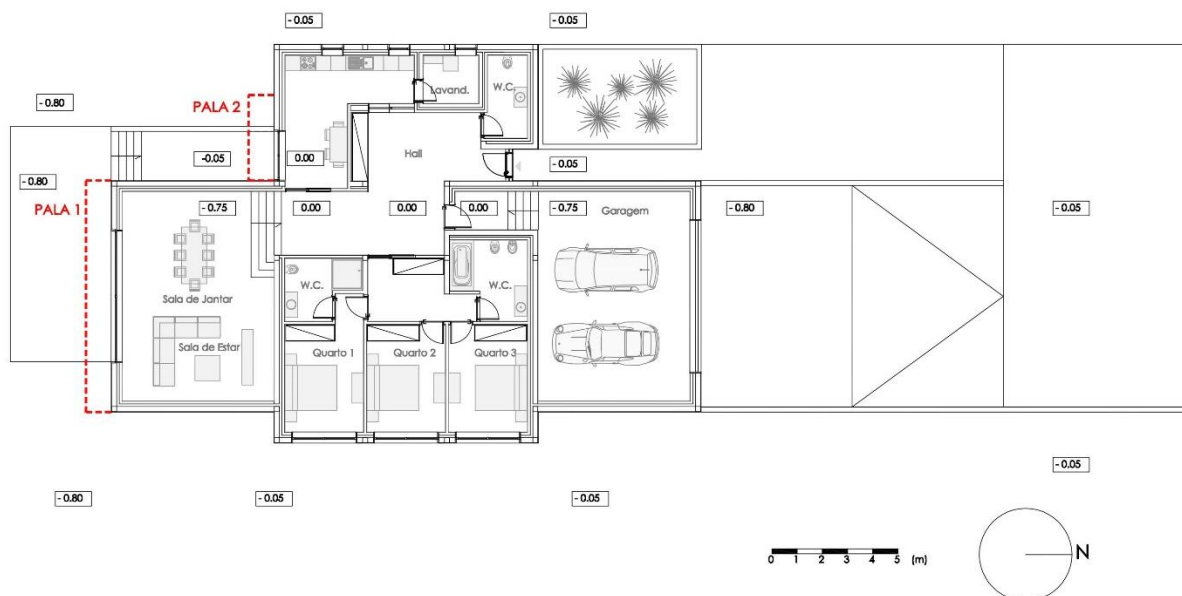


E2. VÃOS ENVIDRAÇADOS – RESULTADOS OBTIDOS PELO SOFTWARE WINDOW 7.4

Vão envidraçado	Compartimento Associado	Orientação	Solução de Envidraçado	T _{vis}	g _l	U _w [W/m ² .C°]
VEV_1	Quarto 3	Este	Duplo baixo emissivo	0,676	0,599	2,215
VEV_2	Quarto 2	Este	Duplo baixo emissivo	0,676	0,599	2,215
VEV_3	Quarto 1	Este	Duplo baixo emissivo	0,676	0,599	2,215
VEV_4	Sala de jantar/estar	Sul	Duplo baixo emissivo	0,727	0,596	1,853
VEV_5	Cozinha	Sul	Duplo baixo emissivo	0,687	0,598	2,151
VEV_6	Cozinha	Oeste	Duplo baixo emissivo	0,628	0,602	2,514
VEV_7	Cozinha	Oeste	Duplo baixo emissivo	0,628	0,602	2,514
VEV_8	Lavandaria	Oeste	Duplo baixo emissivo	0,628	0,602	2,514
VEH_1	Instalação Sanitária (zona de entrada)	- (claraboia)	Duplo baixo emissivo	0,614	0,603	2,602

F. SIMULAÇÃO 3: INCLUSÃO DE PALAS DE SOMBREAMENTO (HORIZONTAIS)

F1. PLANTA COM LOCALIZAÇÃO DAS PALAS DE SOMBREAMENTO

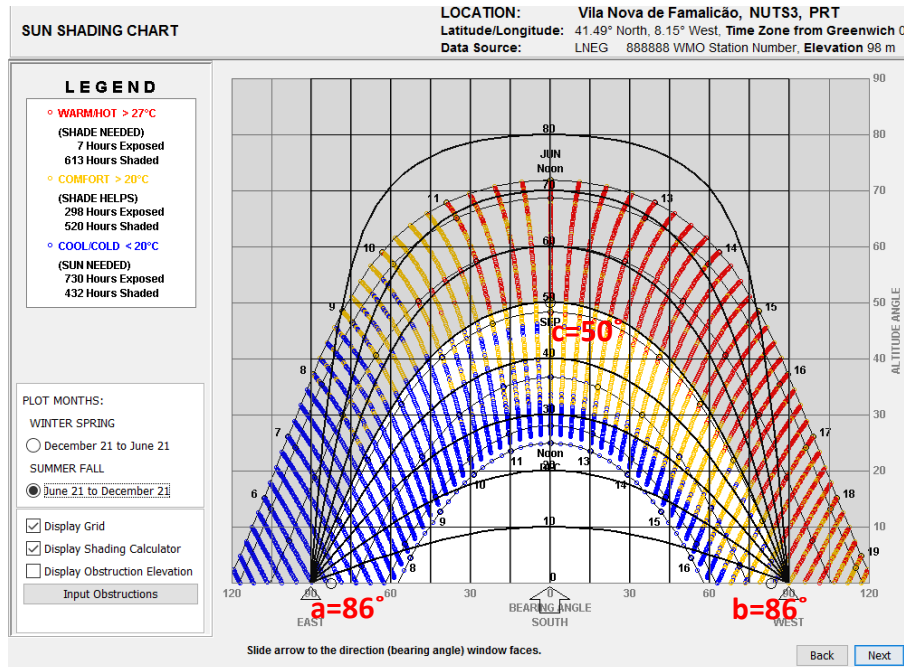


F2. DIMENSÕES DAS PALAS DE SOMBREAMENTO E COMPARTIMENTO ASSOCIADO

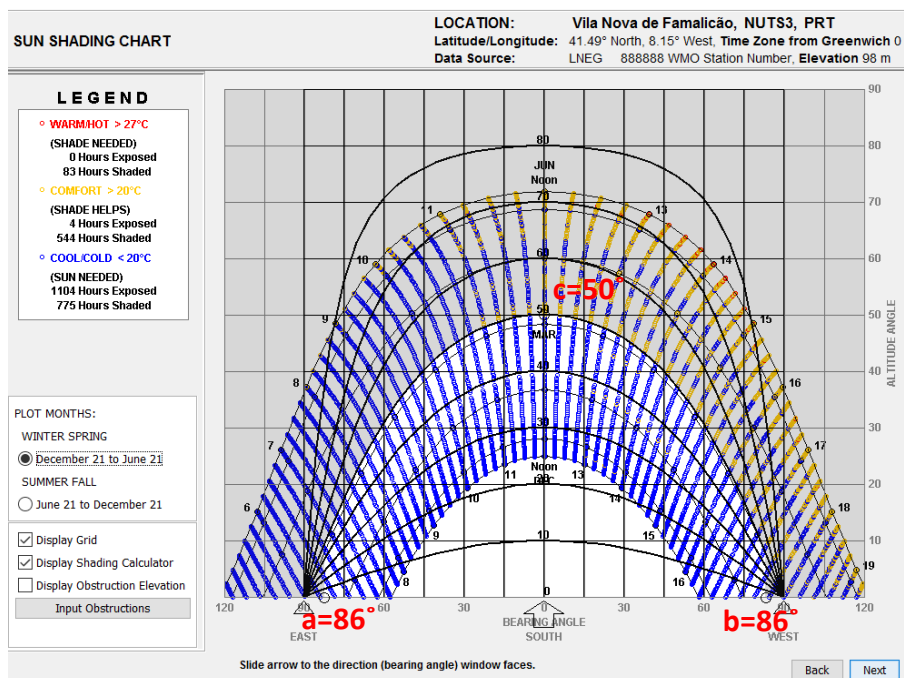
Pala de Sombreamento Horizontal	Compartimento associado	Dimensão
Pala 1	Sala de Estar/Jantar	9,20 m x 1,00 m
Pala 2	Cozinha	3,40 m x 1,00 m

F3. SOFTWARE DE APOIO AO DIMENSIONAMENTO: CLIMATE CONSULTANT V6.0

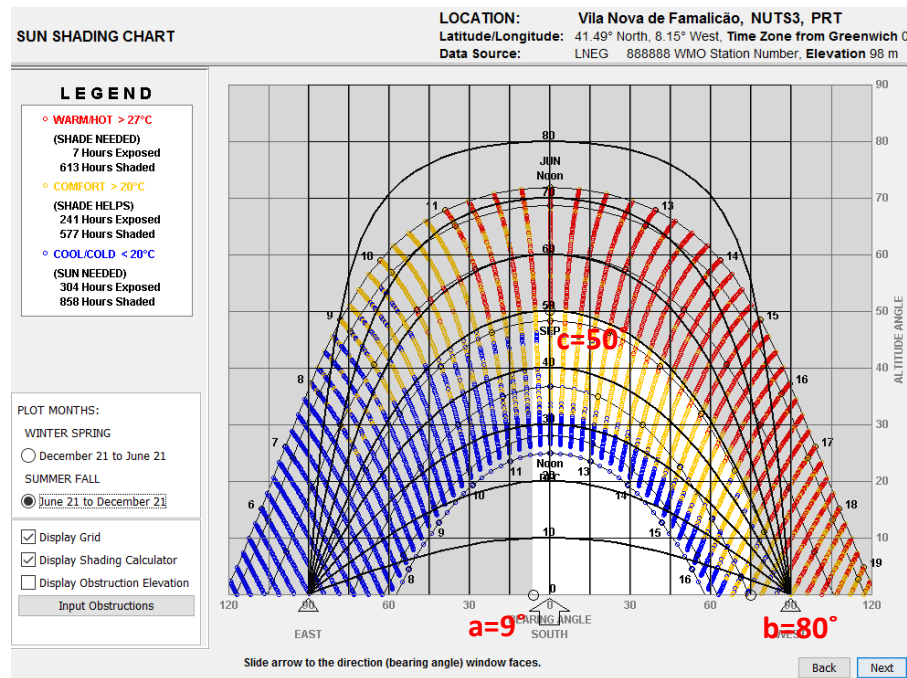
F3.1. PALA 1: REPRESENTAÇÃO DA PROTEÇÃO SOLAR ENTRE 21 DE JUNHO E 21 DE DEZEMBRO (VERÃO E OUTONO)



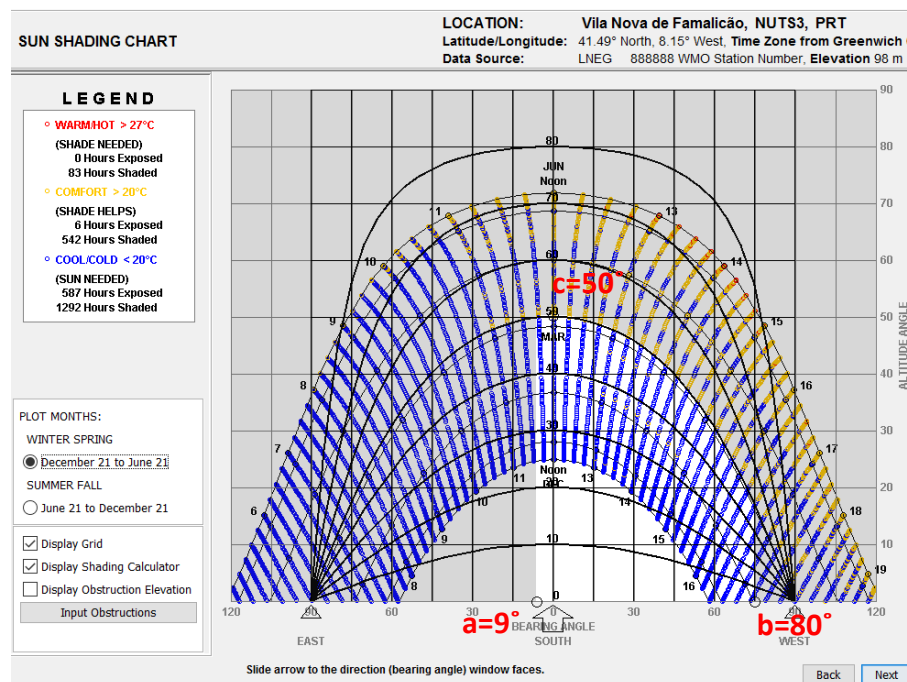
F3.2. PALA 1: REPRESENTAÇÃO DA PROTEÇÃO SOLAR ENTRE 21 DE DEZEMBRO E 21 DE JUNHO (INVERNO E PRIMAVERA)



F3.3. PALA 2: REPRESENTAÇÃO DA PROTEÇÃO SOLAR ENTRE 21 DE JUNHO E 21 DE DEZEMBRO (VERÃO E OUTONO)

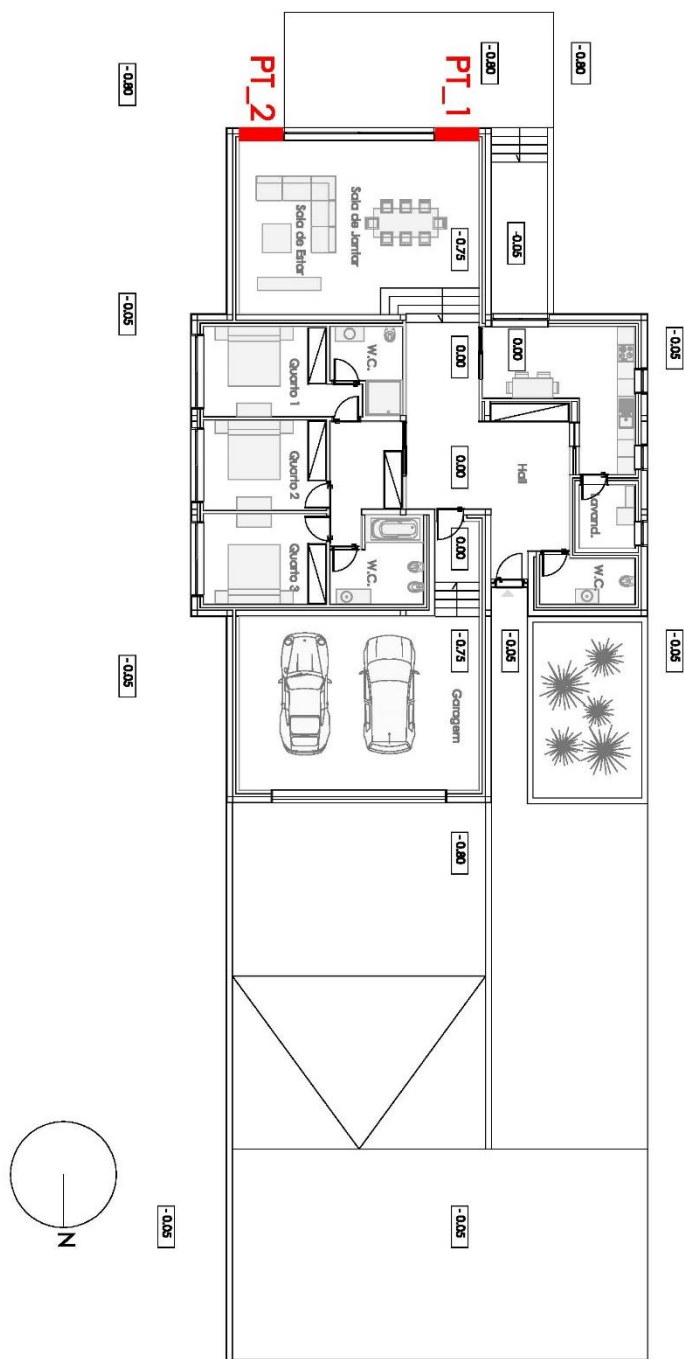


F3.4. PALA 2: REPRESENTAÇÃO DA PROTEÇÃO SOLAR ENTRE 21 DE DEZEMBRO E 21 DE JUNHO (INVERNO E PRIMAVERA)

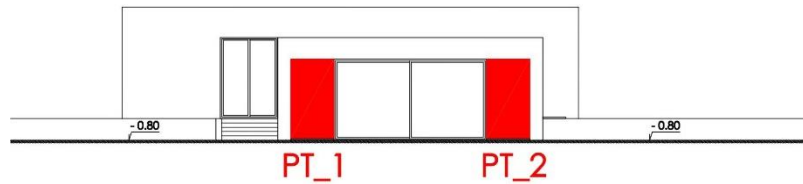


G. SIMULAÇÃO 4: INCLUSÃO DE PAREDES TROMBE 1 E 2

G1. PLANTA COM LOCALIZAÇÃO DAS PAREDES TROMBE 1 E 2, ESCALA 1/200



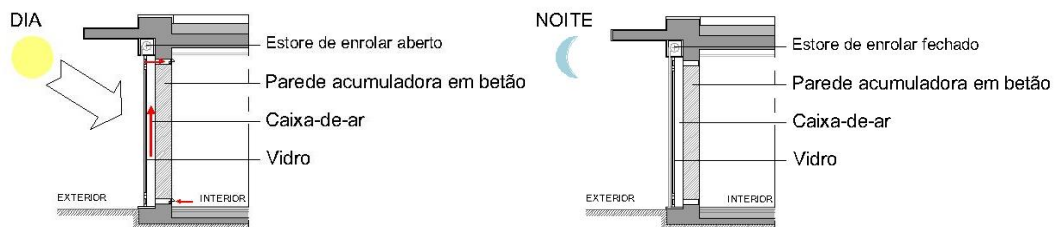
G2. ALÇADO SUL COM LOCALIZAÇÃO DAS PAREDES TROMBE 1 E 2, ESCALA 1/200



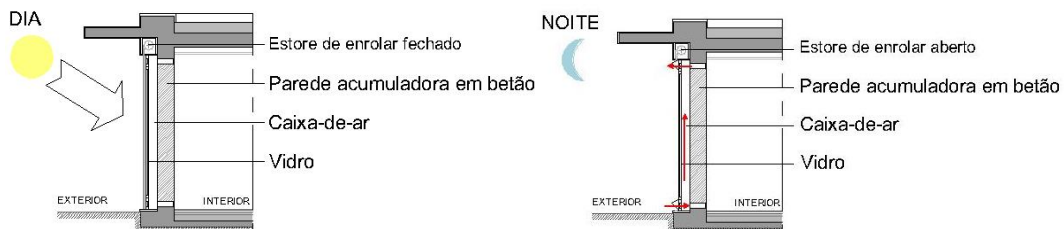
G3. SIMULAÇÃO 4.1: PAREDE TROMBE VENTILADA

G3.1.ESQUEMAS DE FUNCIONAMENTO

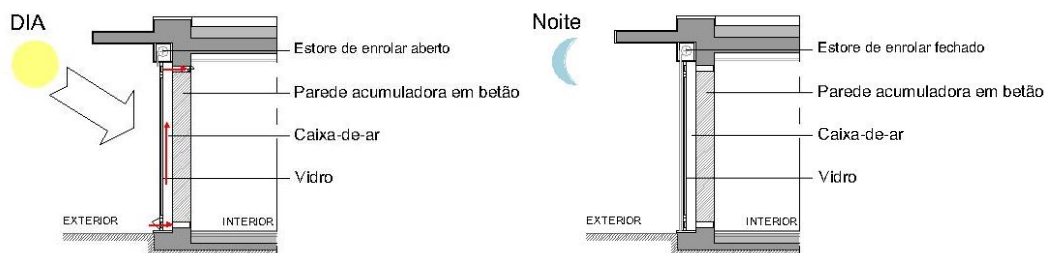
G3.1.1. INVERNO



G3.1.2. VERÃO



G3.1.3. PRIMAVERA E OUTONO

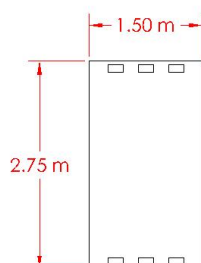


G3.2.HORÁRIOS DE FUNCIONAMENTO DAS ABERTURAS DE TERMOCIRCULAÇÃO E ESTORE

	Inverno	Primavera	Outono	Verão
Abertura superior da parede acumuladora em betão				
00:00 h – 09:00 h	Fechado	Fechado	Fechado	Fechado
09:00 h – 18:00 h	Aberto	Aberto	Aberto	Fechado
18:00 h – 24:00 h	Fechado	Fechado	Fechado	Fechado
Abertura inferior da parede acumuladora em betão				
00:00 h – 09:00 h	Fechado	Fechado	Fechado	Fechado
09:00 h – 18:00 h	Aberto	Fechado	Fechado	Fechado
18:00 h – 24:00 h	Fechado	Fechado	Fechado	Fechado
Abertura superior do Vidro				
00:00 h – 09:00 h	Fechado	Fechado	Fechado	Aberto
09:00 h – 18:00 h	Fechado	Fechado	Fechado	Fechado
18:00 h – 24:00 h	Fechado	Fechado	Fechado	Aberto
Abertura inferior do Vidro				
00:00 h – 09:00 h	Fechado	Fechado	Fechado	Aberto
09:00 h – 18:00 h	Fechado	Aberto	Aberto	Fechado
18:00 h – 24:00 h	Fechado	Fechado	Fechado	Aberto
Estore de enrolar				
00:00 h – 09:00 h	Fechado	Fechado	Fechado	Aberto
09:00 h – 18:00 h	Aberto	Aberto	Aberto	Fechado
18:00 h – 24:00 h	Fechado	Fechado	Fechado	Aberto

G3.3.DESENHO DAS ABERTURAS DE TERMOCIRCULAÇÃO

ALÇADO DA PAREDE DE BETÃO COM
ABERTURAS DE TERMOCIRCULAÇÃO



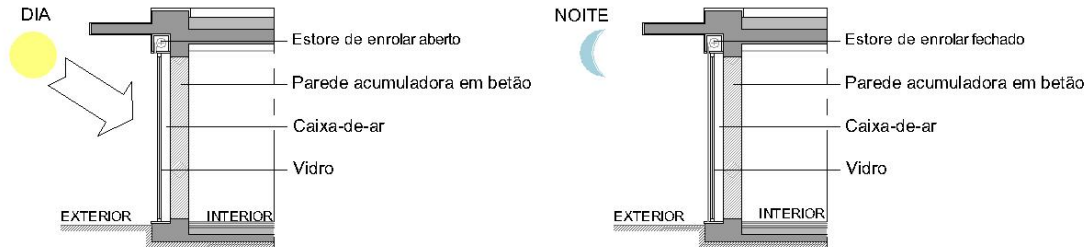
DIMENSÃO DE CADA ABERTURA

0.20 m
□ = 0.10 m

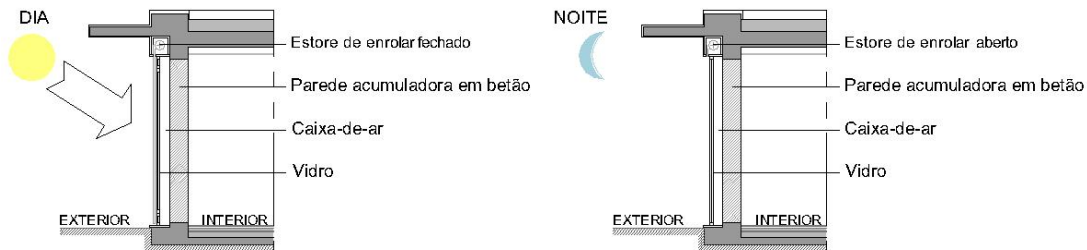
G4. SIMULAÇÃO 4.2: PAREDE TROMBE NÃO VENTILADA

G4.1.ESQUEMAS DE FUNCIONAMENTO

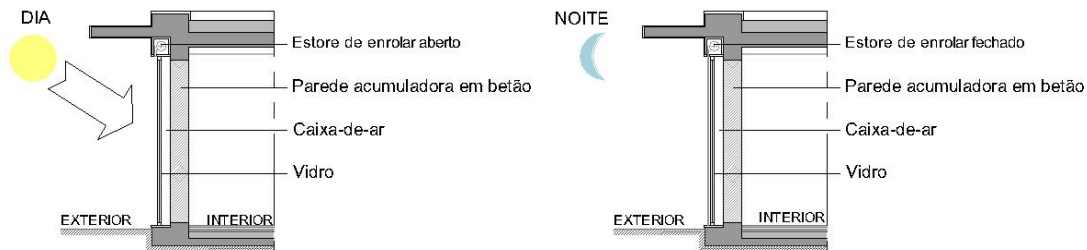
G4.1.1.INVERNO



G4.1.2. VERÃO



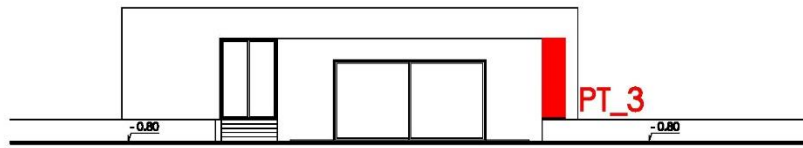
G4.1.3.PRIMAVERA/OUTONO



G4.2.HORÁRIOS DE FUNCIONAMENTO DO ESTORE

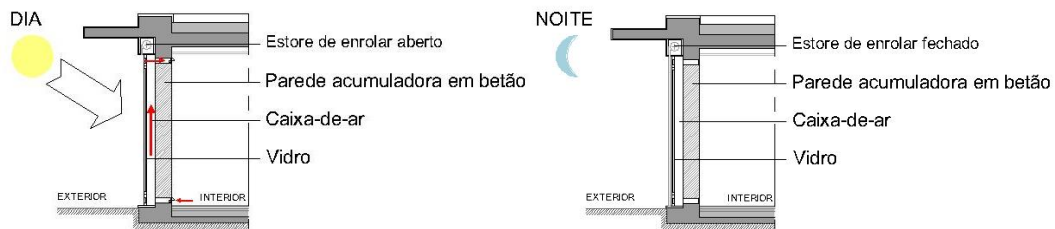
	Estore de enrolar			
	Inverno	Primavera	Outono	Verão
00:00 h – 09:00 h	Fechado	Fechado	Fechado	Aberto
09:00 h – 18:00 h	Aberto	Aberto	Aberto	Fechado
18:00 h – 24:00 h	Fechado	Fechado	Fechado	Aberto

H2. ALÇADO SUL COM LOCALIZAÇÃO DA PAREDE TROMBE 3, ESCALA 1/200

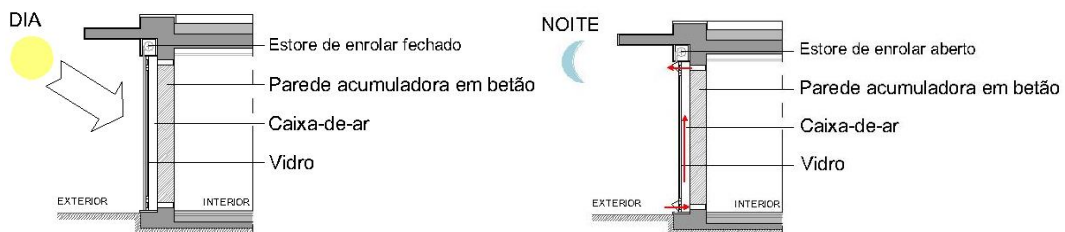


H3. SIMULAÇÃO 5.2: PAREDE TROMBE VENTILADA

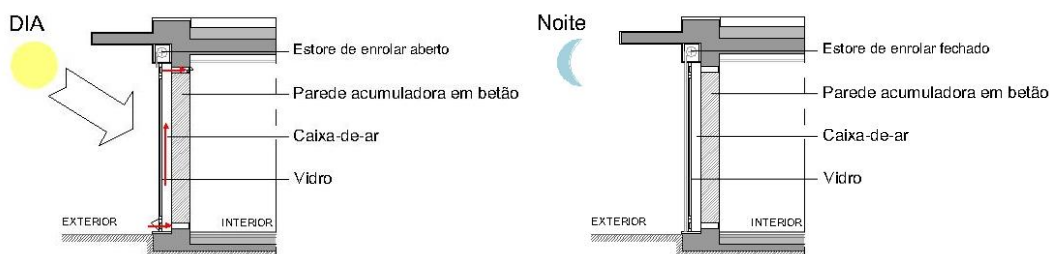
H3.1.1. INVERNO



H3.1.2. VERÃO



H3.1.3. PRIMAVERA E OUTONO

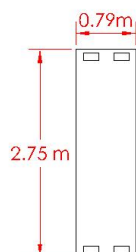


H3.2. HORÁRIOS DE FUNCIONAMENTO DAS ABERTURAS DE TERMOCIRCULAÇÃO E ESTORE

	Inverno	Primavera	Outono	Verão
Abertura superior da parede acumuladora em betão				
00:00 h – 09:00 h	Fechado	Fechado	Fechado	Fechado
09:00 h – 18:00 h	Aberto	Aberto	Aberto	Fechado
18:00 h – 24:00 h	Fechado	Fechado	Fechado	Fechado
Abertura inferior da parede acumuladora em betão				
00:00 h – 09:00 h	Fechado	Fechado	Fechado	Fechado
09:00 h – 18:00 h	Aberto	Fechado	Fechado	Fechado
18:00 h – 24:00 h	Fechado	Fechado	Fechado	Fechado
Abertura superior do Vidro				
00:00 h – 09:00 h	Fechado	Fechado	Fechado	Aberto
09:00 h – 18:00 h	Fechado	Fechado	Fechado	Fechado
18:00 h – 24:00 h	Fechado	Fechado	Fechado	Aberto
Abertura inferior do Vidro				
00:00 h – 09:00 h	Fechado	Fechado	Fechado	Aberto
09:00 h – 18:00 h	Fechado	Aberto	Aberto	Fechado
18:00 h – 24:00 h	Fechado	Fechado	Fechado	Aberto
Estore de enrolar				
00:00 h – 09:00 h	Fechado	Fechado	Fechado	Aberto
09:00 h – 18:00 h	Aberto	Aberto	Aberto	Fechado
18:00 h – 24:00 h	Fechado	Fechado	Fechado	Aberto

H3.3. DESENHO DAS ABERTURAS DE TERMOCIRCULAÇÃO

ALÇADO DA PAREDE DE BETÃO COM
ABERTURAS DE TERMOCIRCULAÇÃO



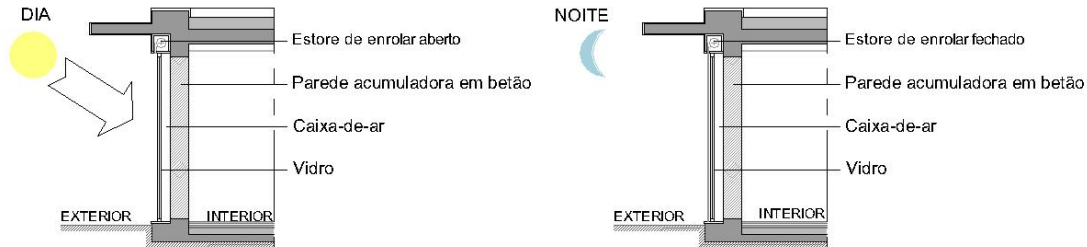
DIMENSÃO DE CADA ABERTURA

0.20 m
□ = 0.10 m

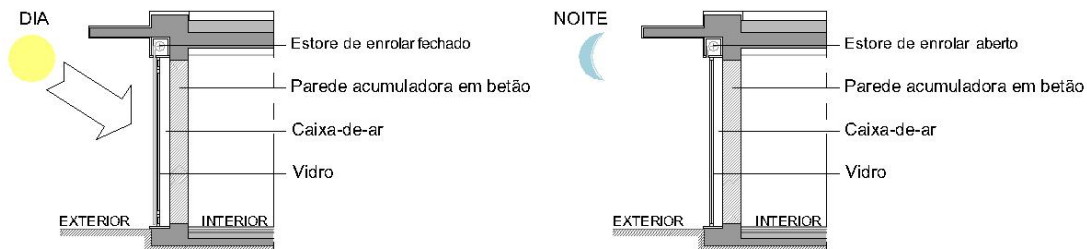
H4. SIMULAÇÃO 5.1: PAREDE TROMBE NÃO VENTILADA

H4.1.ESQUEMAS DE FUNCIONAMENTO

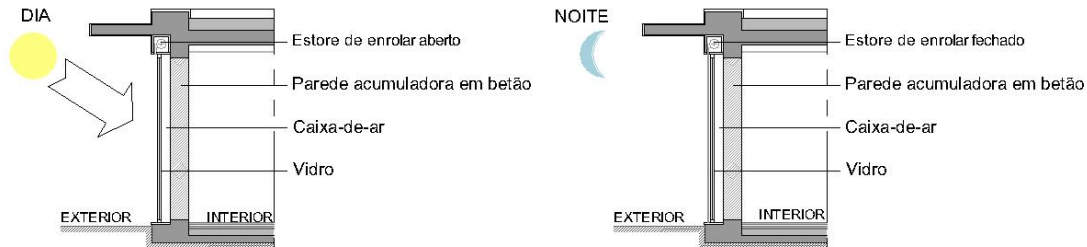
H4.1.1.INVERNO



H4.1.2. VERÃO



H4.1.3.PRIMAVERA E OUTONO

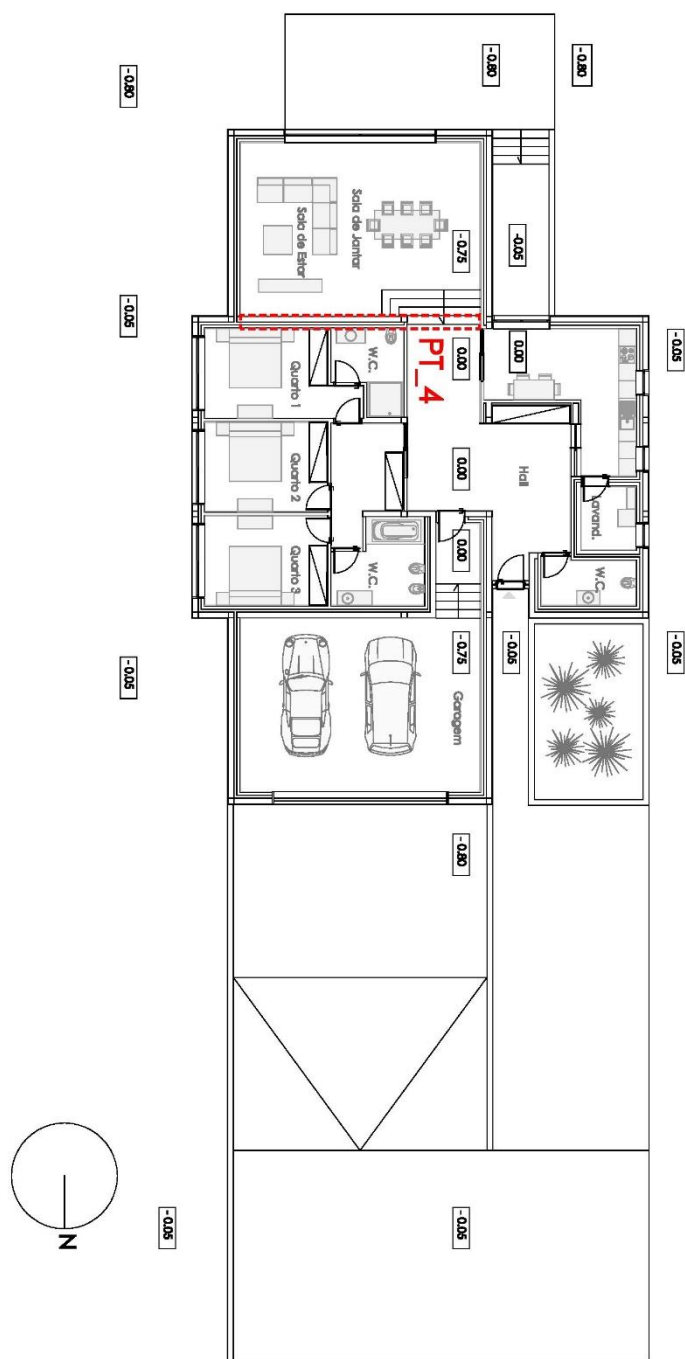


H4.2.HORÁRIOS DE FUNCIONAMENTO DO ESTORE

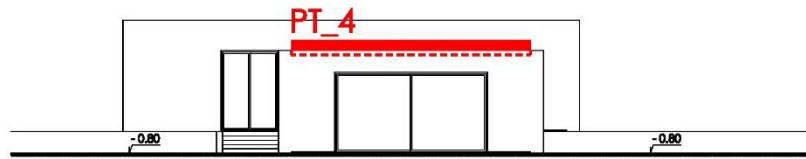
	Estore de enrolar			
	Inverno	Primavera	Outono	Verão
00:00 h – 09:00 h	Fechado	Fechado	Fechado	Aberto
09:00 h – 18:00 h	Aberto	Aberto	Aberto	Fechado
18:00 h – 24:00 h	Fechado	Fechado	Fechado	Aberto

I. SIMULAÇÃO 6: INCLUSÃO DE PAREDE TROMBE 4

I1. PLANTA COM LOCALIZAÇÃO DA PAREDE TROMBE 4, ESCALA 1/200



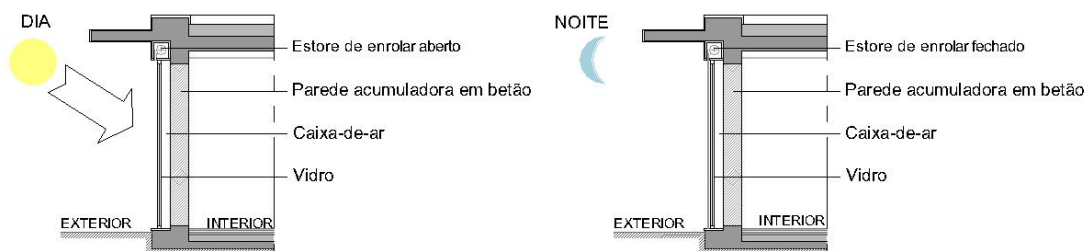
I2. ALÇADO SUL COM LOCALIZAÇÃO DA PAREDE TROMBE 4, ESCALA 1/200



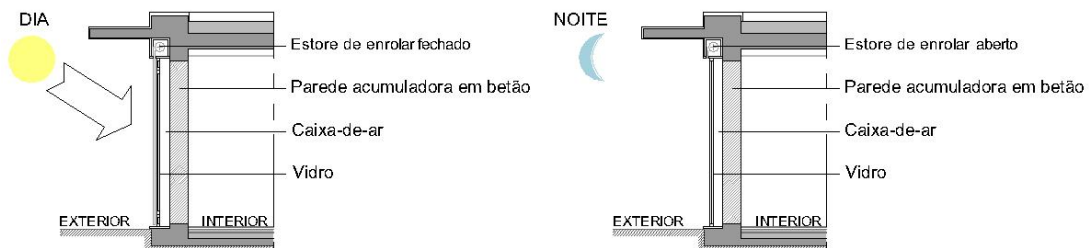
I3. SIMULAÇÃO 6: PAREDE TROMBE NÃO VENTILADA

I3.1. ESQUEMAS DE FUNCIONAMENTO

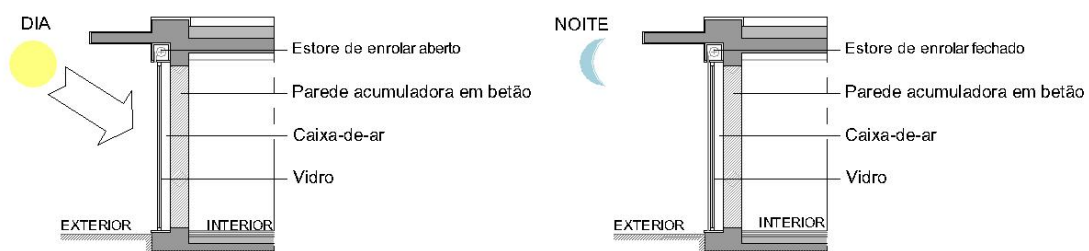
I3.1.1. INVERNO



I3.1.2. VERÃO



I3.1.3. PRIMAVERA E OUTONO



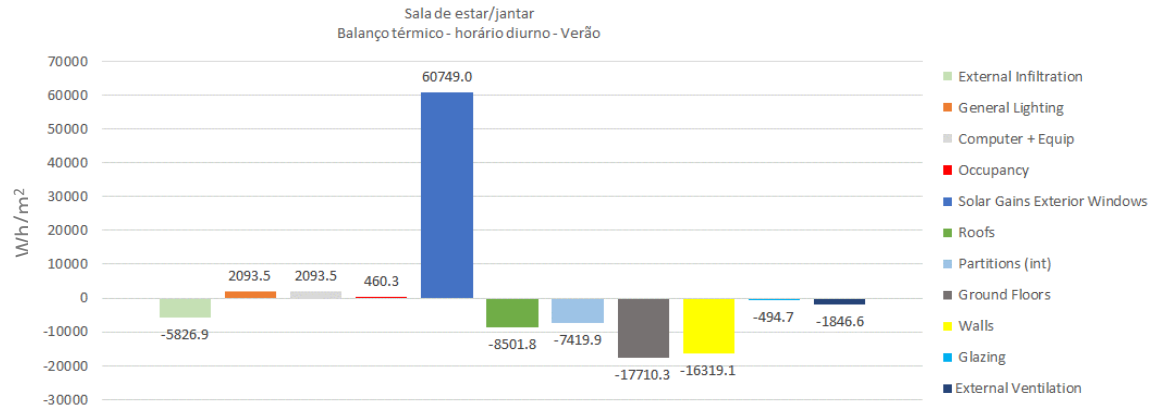
I3.2. HORÁRIOS DE FUNCIONAMENTO DO ESTORE

	Estore de enrolar			
	Inverno	Primavera	Outono	Verão
00:00 h – 09:00 h	Fechado	Fechado	Fechado	Aberto
09:00 h – 18:00 h	Aberto	Aberto	Aberto	Fechado
18:00 h – 24:00 h	Fechado	Fechado	Fechado	Aberto

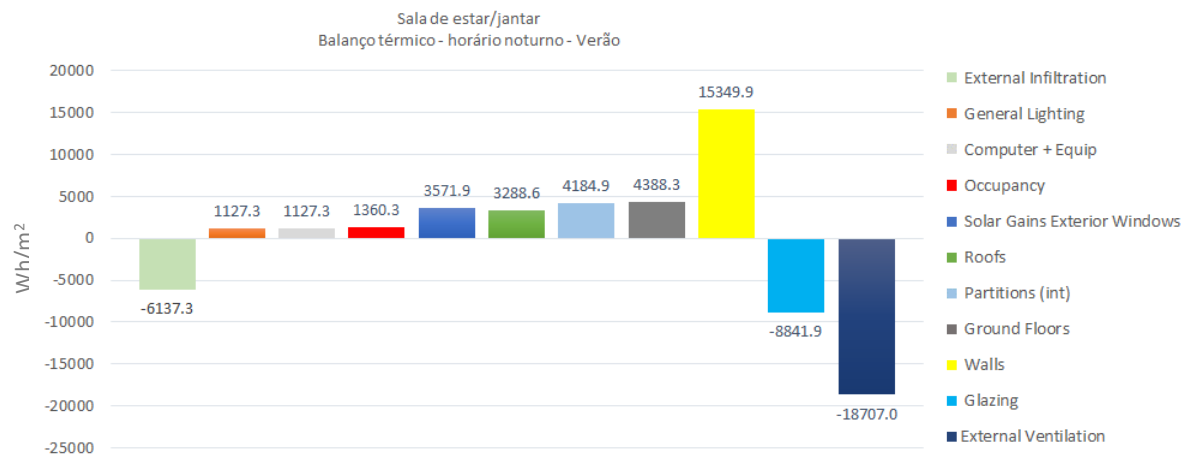
J. RESULTADOS: BALANÇOS TÉRMICOS

J1. SIMULAÇÃO 1.1

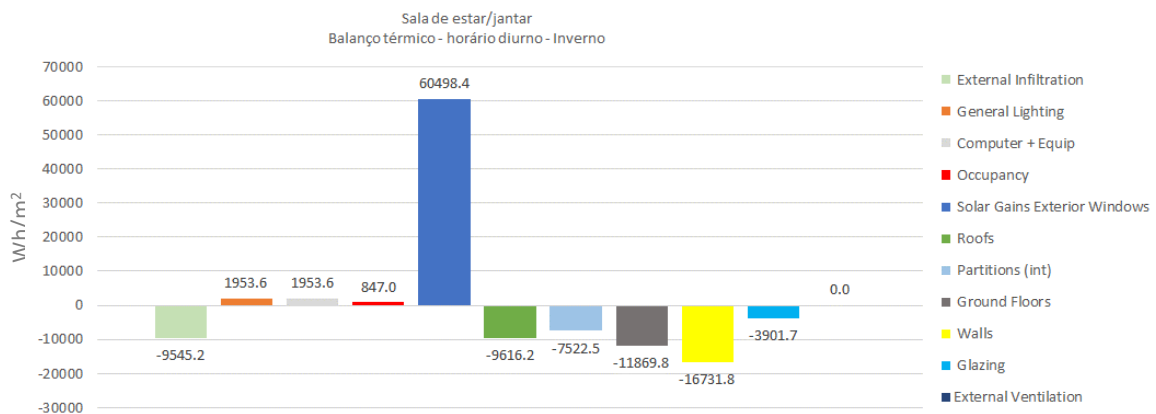
J1.1.SALA DE ESTAR/JANTAR: BALANÇO TÉRMICO DE VERÃO EM HORÁRIO DIURNO



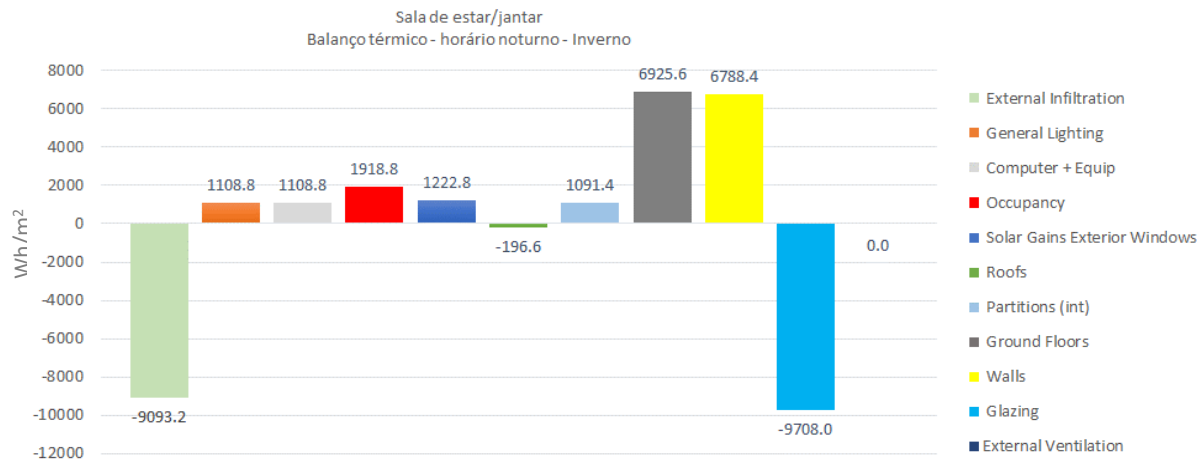
J1.2.SALA DE ESTAR/JANTAR: BALANÇO TÉRMICO DE VERÃO EM HORÁRIO NOTURNO



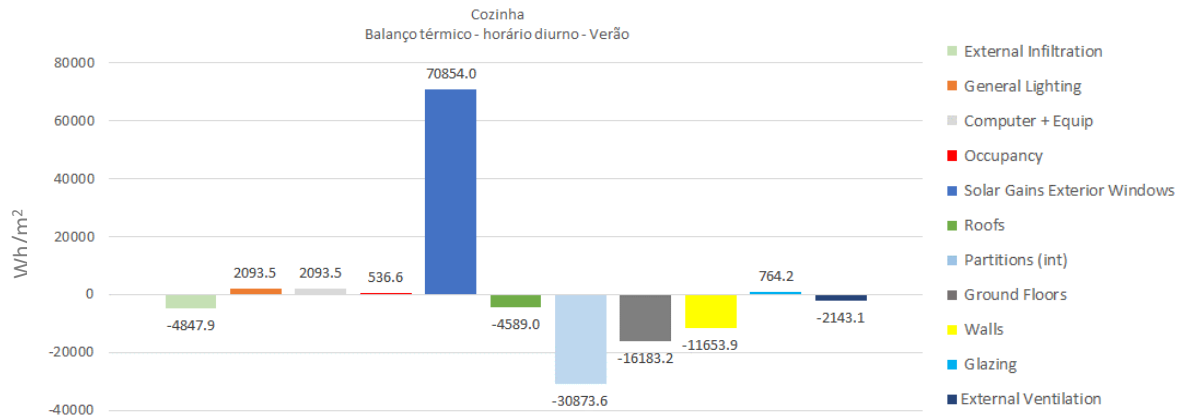
J1.3.SALA DE ESTAR/JANTAR: BALANÇO TÉRMICO DE INVERNO EM HORÁRIO DIURNO



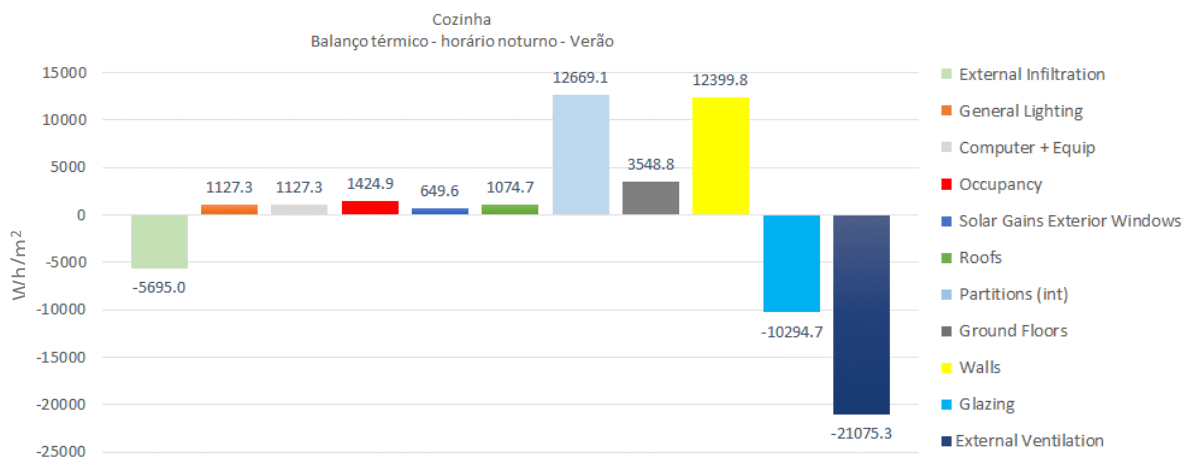
J1.4. SALA DE ESTAR/JANTAR: BALANÇO TÉRMICO DE INVERNO EM HORÁRIO NOTURNO



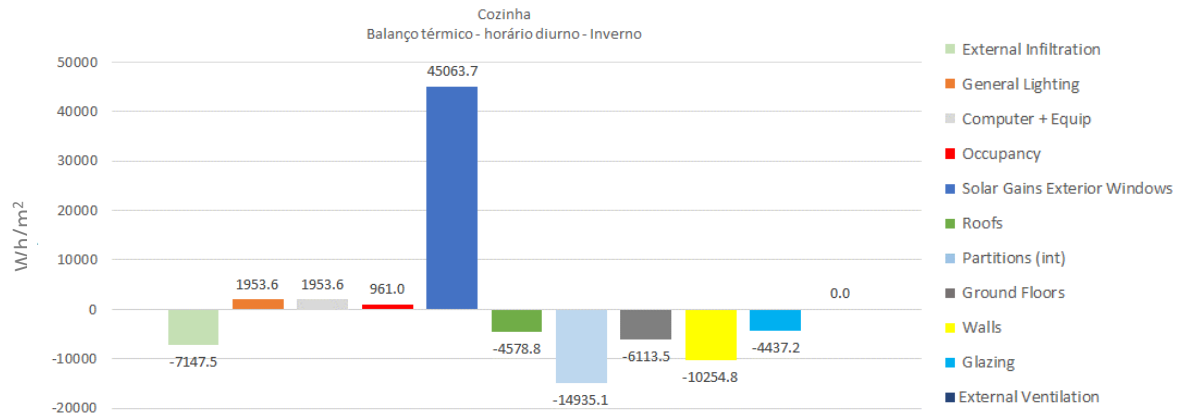
J1.5. COZINHA: BALANÇO TÉRMICO DE VERÃO EM HORÁRIO DIURNO



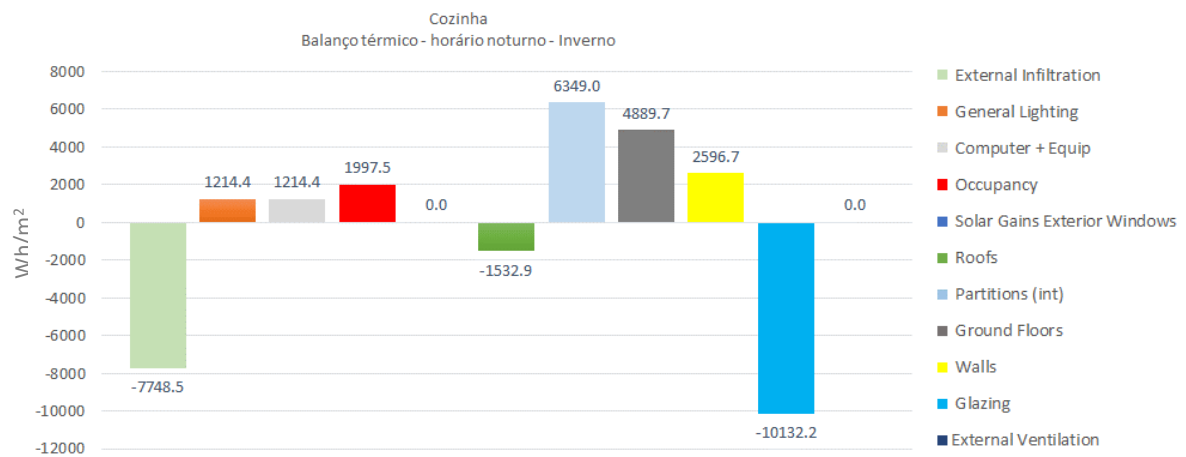
J1.6. COZINHA: BALANÇO TÉRMICO DE VERÃO EM HORÁRIO NOTURNO



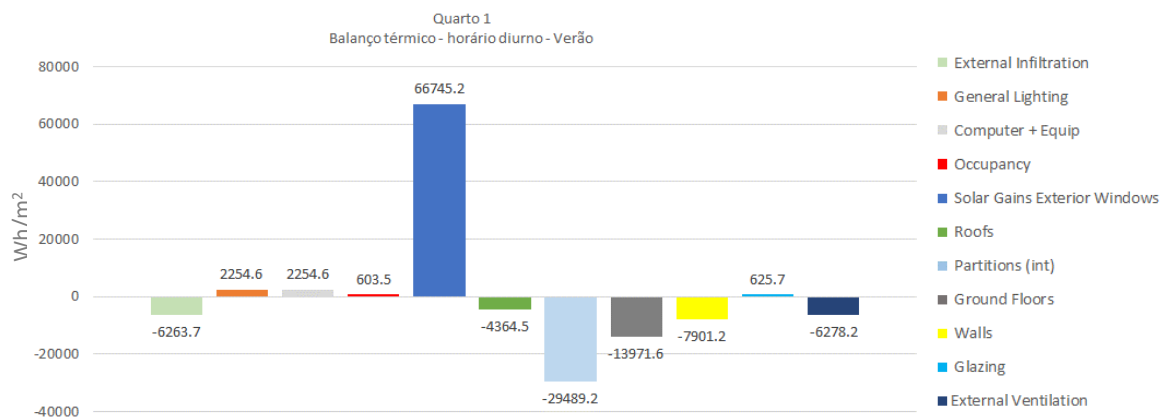
J1.7. COZINHA: BALANÇO TÉRMICO DE INVERNO EM HORÁRIO DIURNO



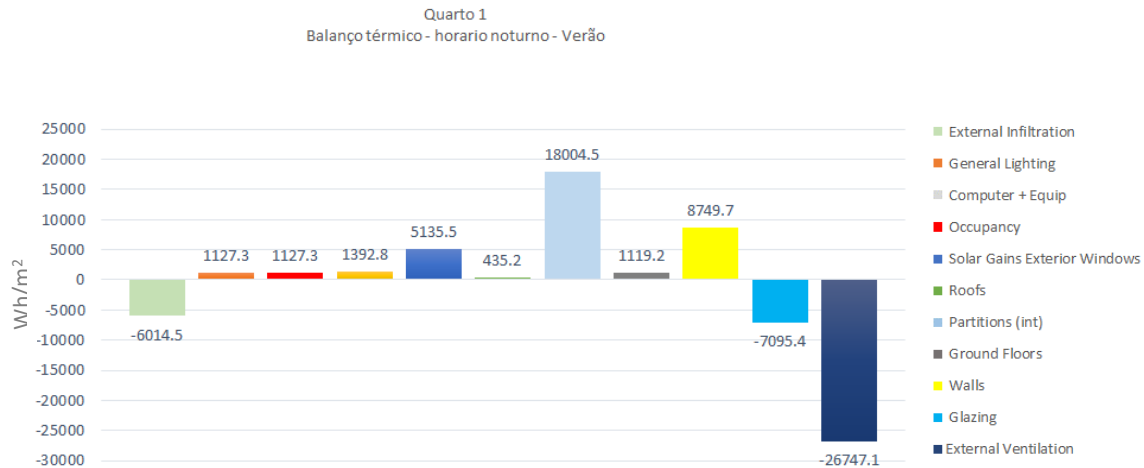
J1.8. COZINHA: BALANÇO TÉRMICO DE INVERNO EM HORÁRIO NOTURNO



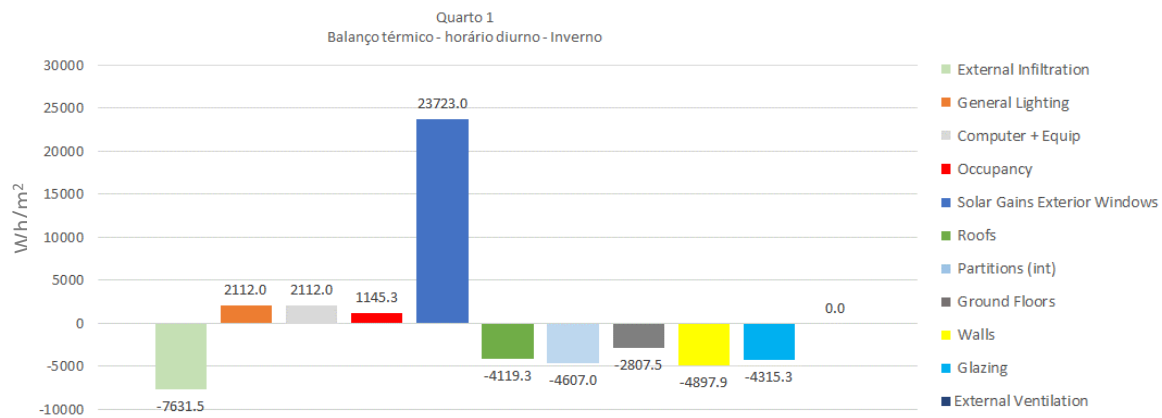
J1.9. QUARTO 1: BALANÇO TÉRMICO DE VERÃO EM HORÁRIO DIURNO



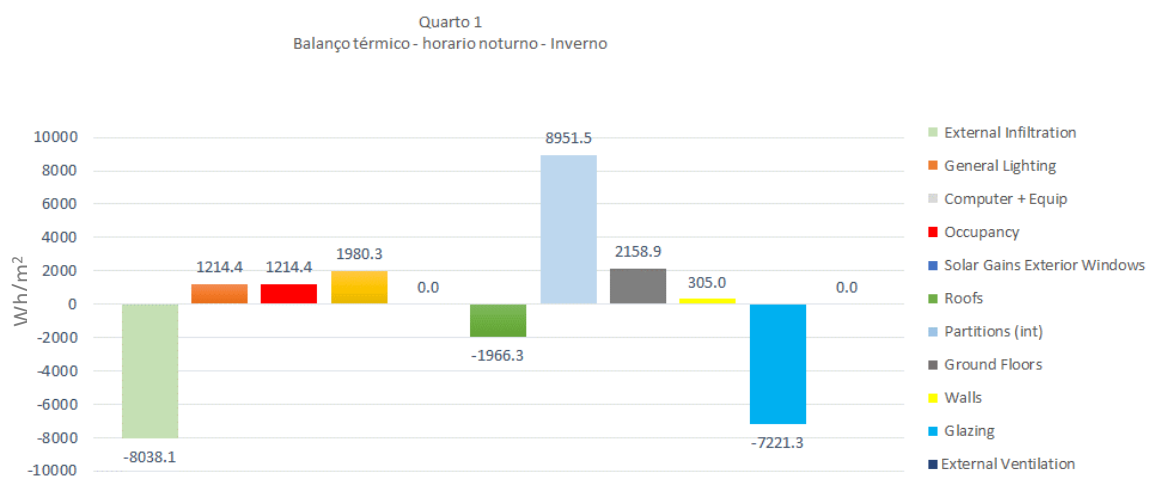
J1.10. QUARTO 1: BALANÇO TÉRMICO DE VERÃO EM HORÁRIO NOTURNO



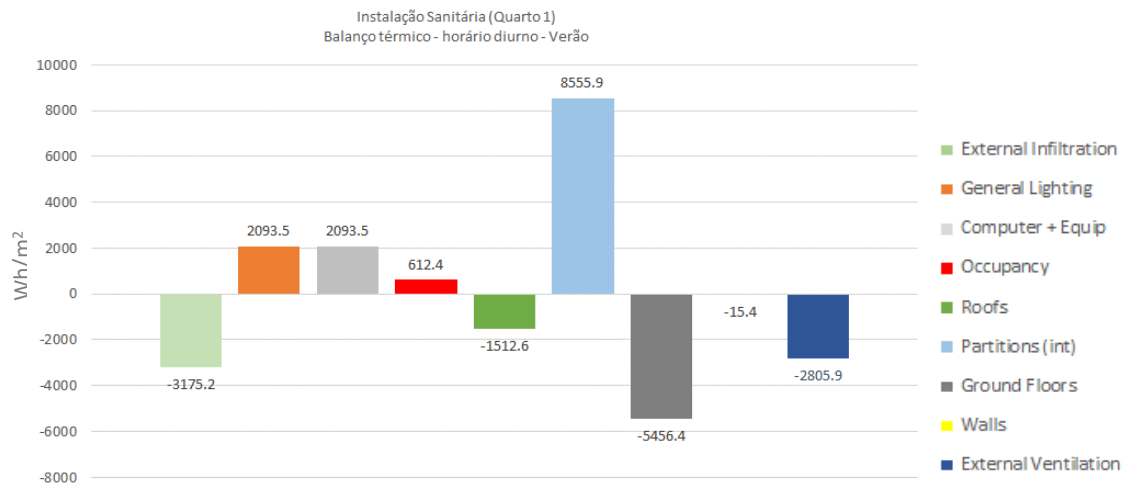
J1.11. QUARTO 1: BALANÇO TÉRMICO DE INVERNO EM HORÁRIO DIURNO



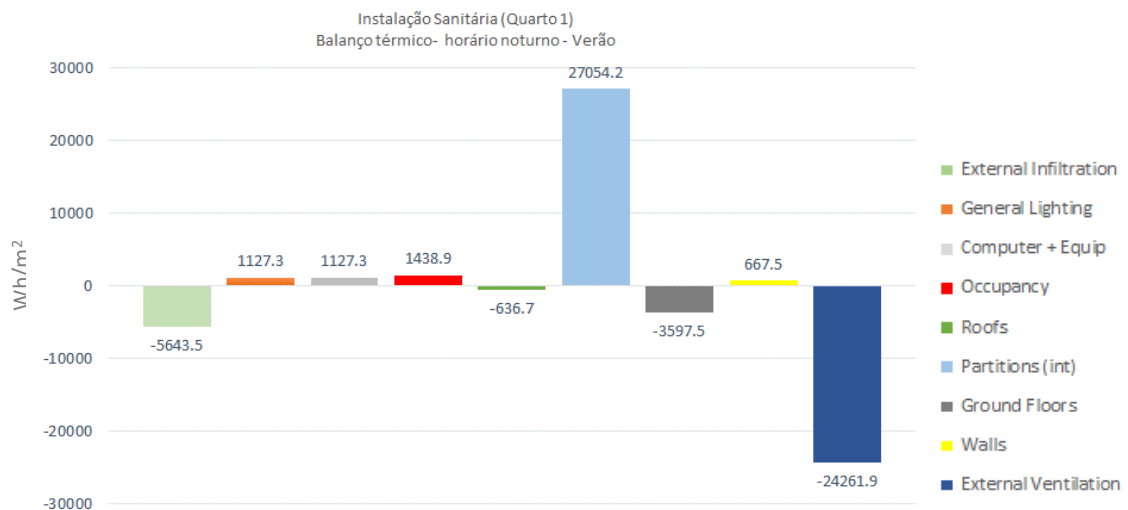
J1.12. QUARTO 1: BALANÇO TÉRMICO DE INVERNO EM HORÁRIO NOTURNO



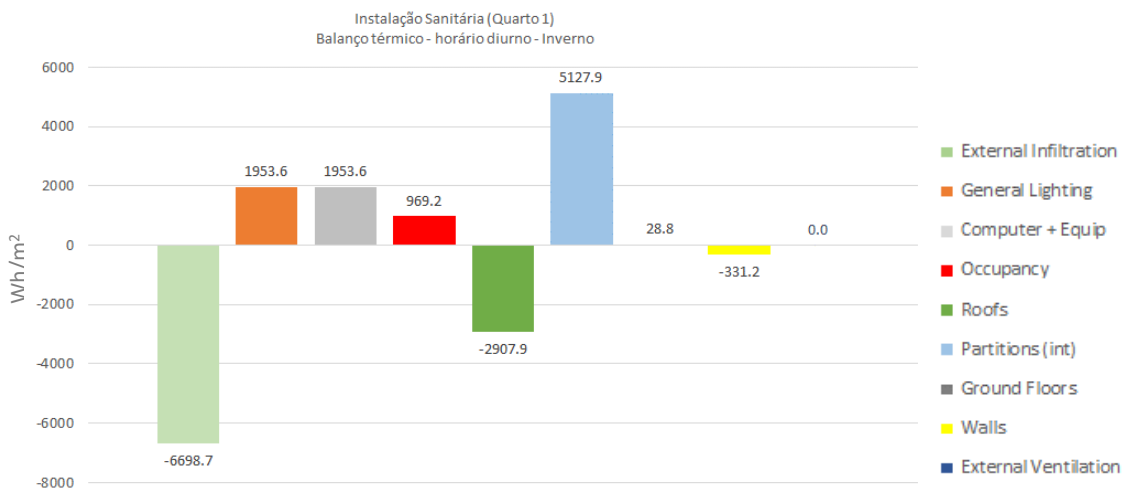
J1.13. INSTALAÇÃO SANITÁRIA (QUARTO 1): BALANÇO TÉRMICO DE VERÃO EM HORÁRIO DIURNO



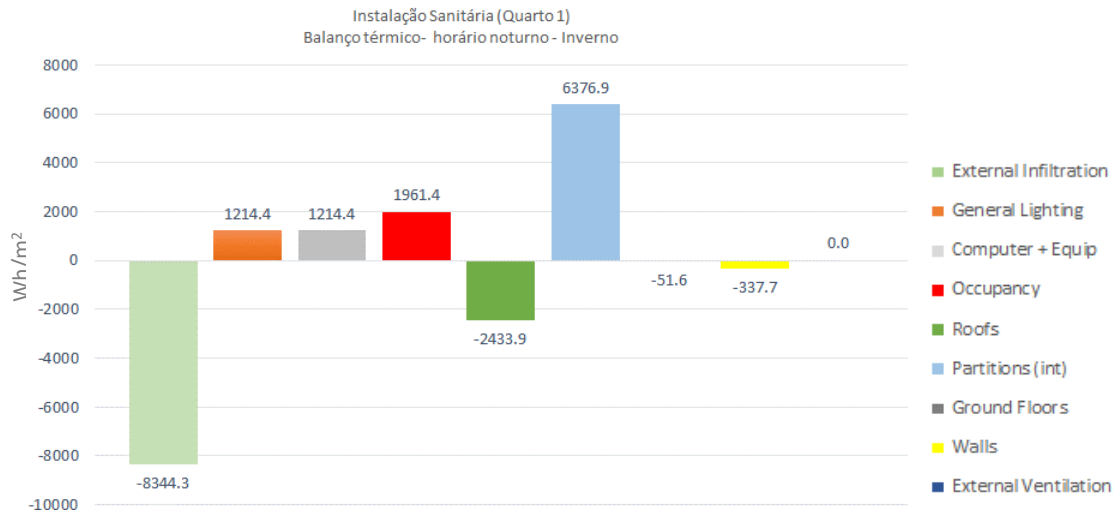
J1.14. INSTALAÇÃO SANITÁRIA (QUARTO 1): BALANÇO TÉRMICO DE VERÃO EM HORÁRIO NOTURNO



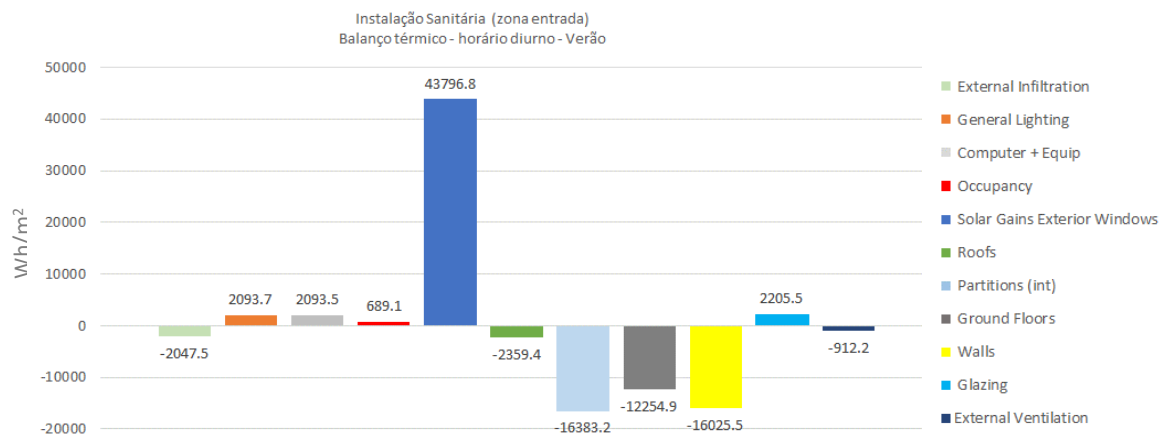
J1.15. INSTALAÇÃO SANITÁRIA (QUARTO 1): BALANÇO TÉRMICO DE INVERNO EM HORÁRIO DIURNO



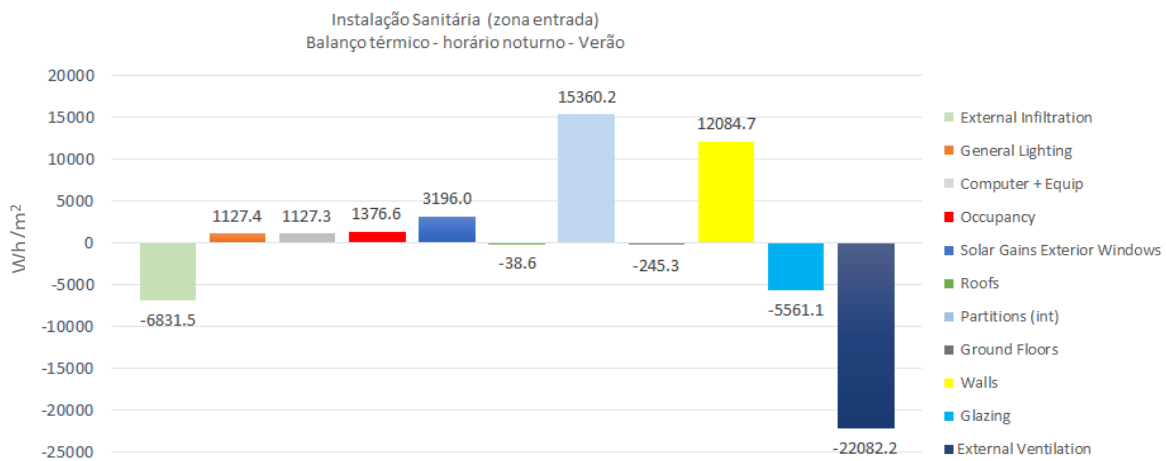
J1.16. INSTALAÇÃO SANITÁRIA (QUARTO 1): BALANÇO TÉRMICO DE INVERNO EM HORÁRIO NOTURNO



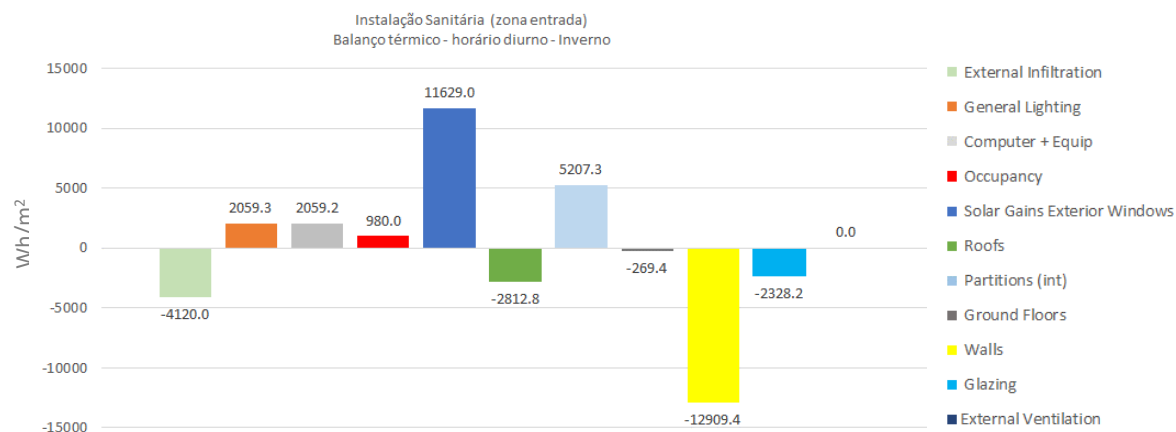
J1.17. INSTALAÇÃO SANITÁRIA (ZONA DE ENTRADA): BALANÇO TÉRMICO DE VERÃO EM HORÁRIO DIURNO



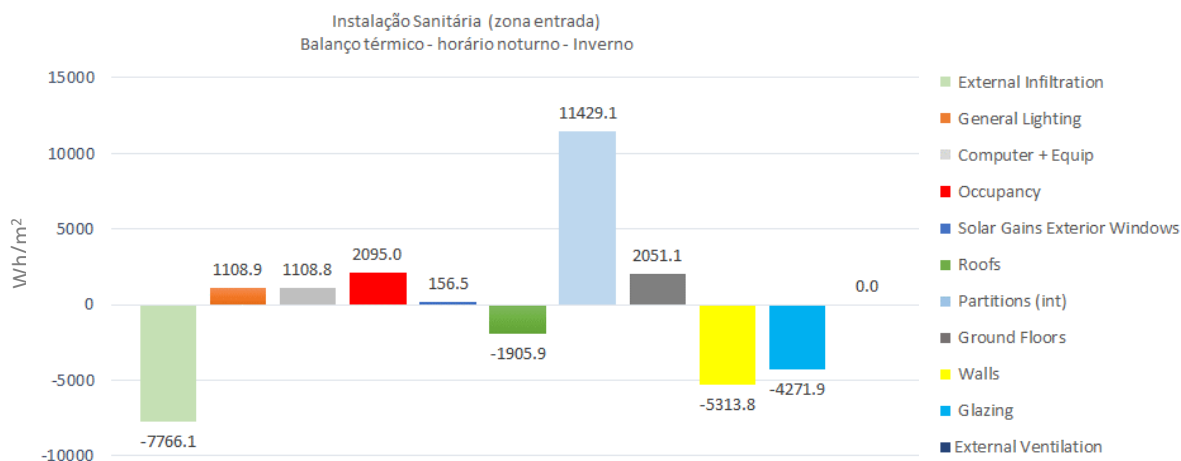
J1.18. INSTALAÇÃO SANITÁRIA (ZONA DE ENTRADA): BALANÇO TÉRMICO DE VERÃO EM HORÁRIO NOTURNO



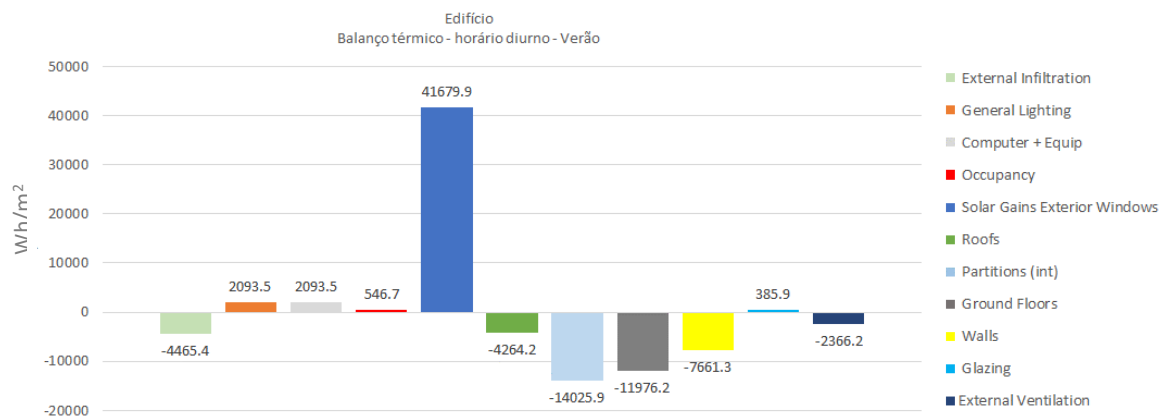
J1.19. INSTALAÇÃO SANITÁRIA (ZONA DE ENTRADA): BALANÇO TÉRMICO DE INVERNO EM HORÁRIO DIURNO



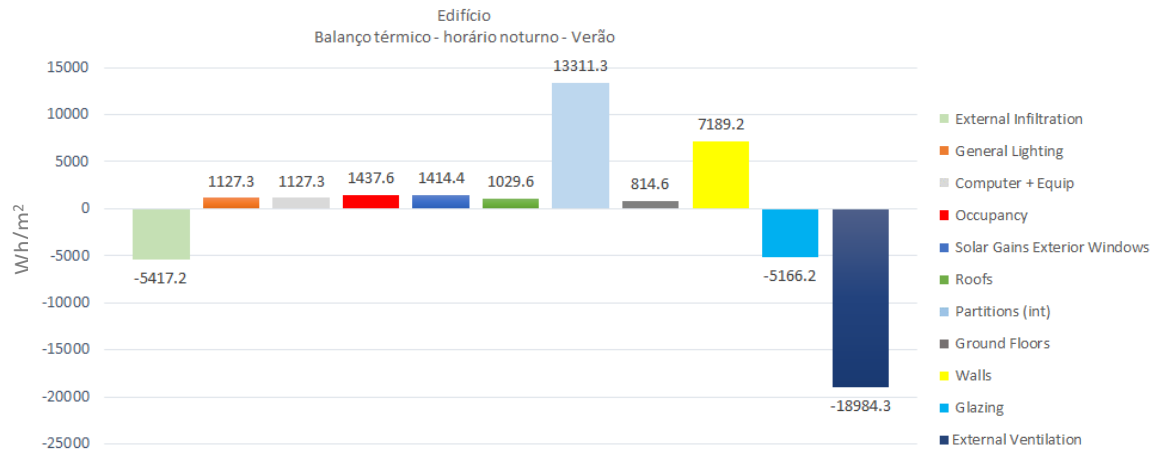
J1.20. INSTALAÇÃO SANITÁRIA (ZONA DE ENTRADA): BALANÇO TÉRMICO DE INVERNO EM HORÁRIO NOTURNO



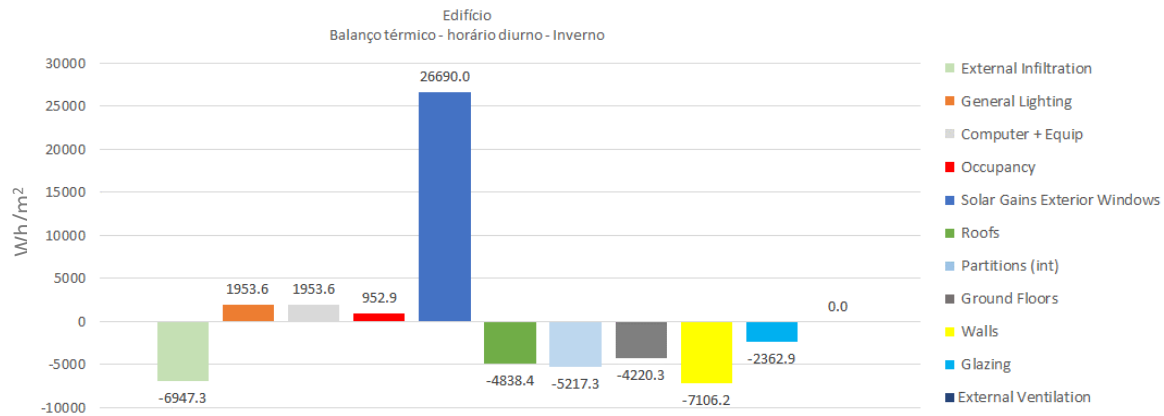
J1.21. EDIFÍCIO: BALANÇO TÉRMICO DE VERÃO EM HORÁRIO DIURNO



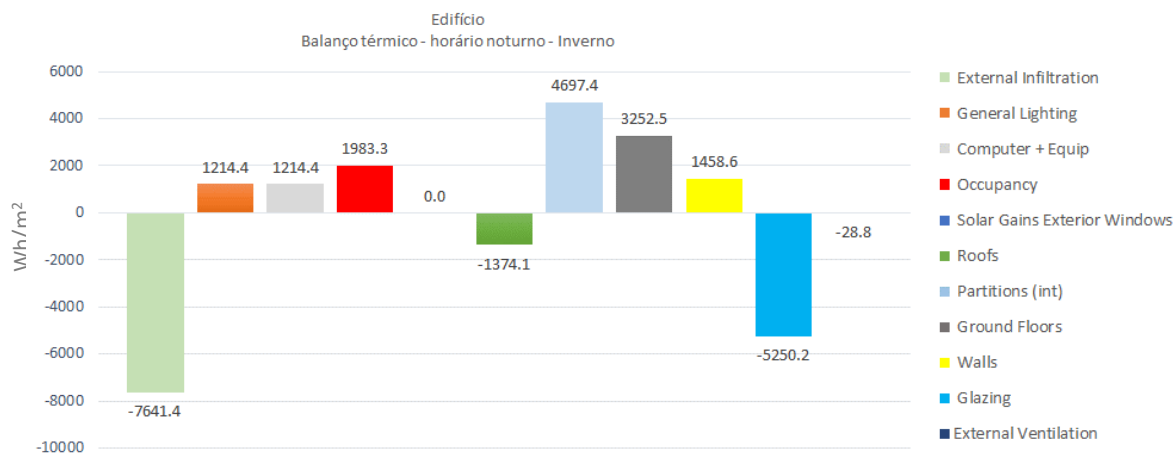
J1.22. EDIFÍCIO: BALANÇO TÉRMICO DE VERÃO EM HORÁRIO NOTURNO



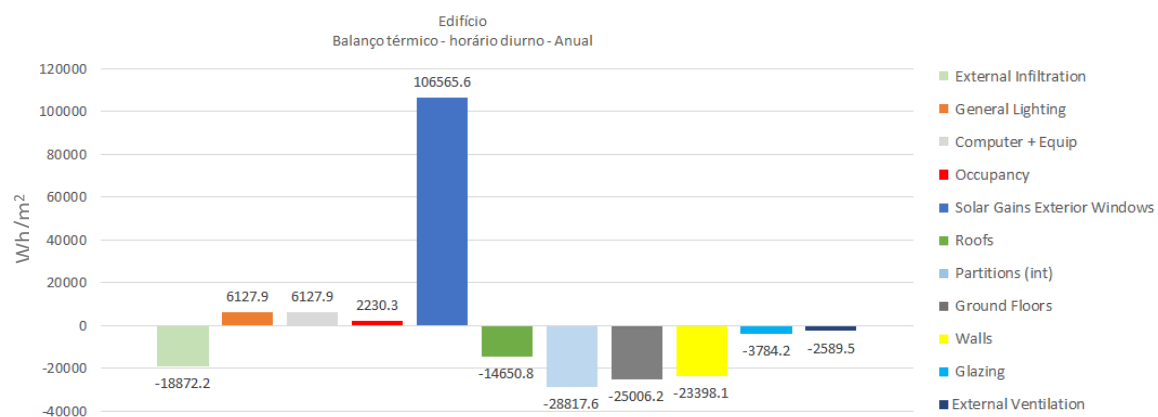
J1.23. EDIFÍCIO: BALANÇO TÉRMICO DE INVERNO EM HORÁRIO DIURNO



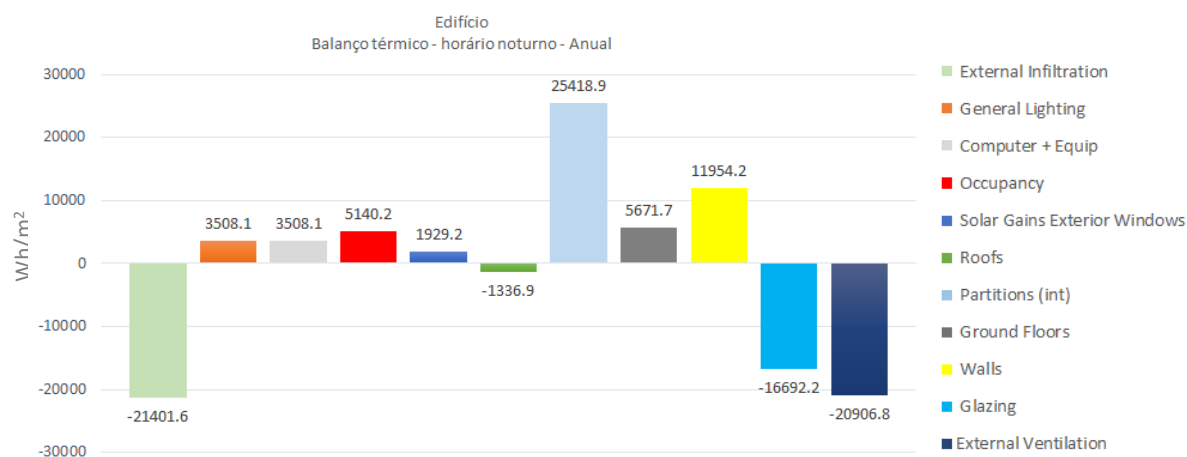
J1.24. EDIFÍCIO: BALANÇO TÉRMICO DE INVERNO EM HORÁRIO NOTURNO



J1.25. EDIFÍCIO: BALANÇO TÉRMICO ANUAL EM HORÁRIO DIURNO

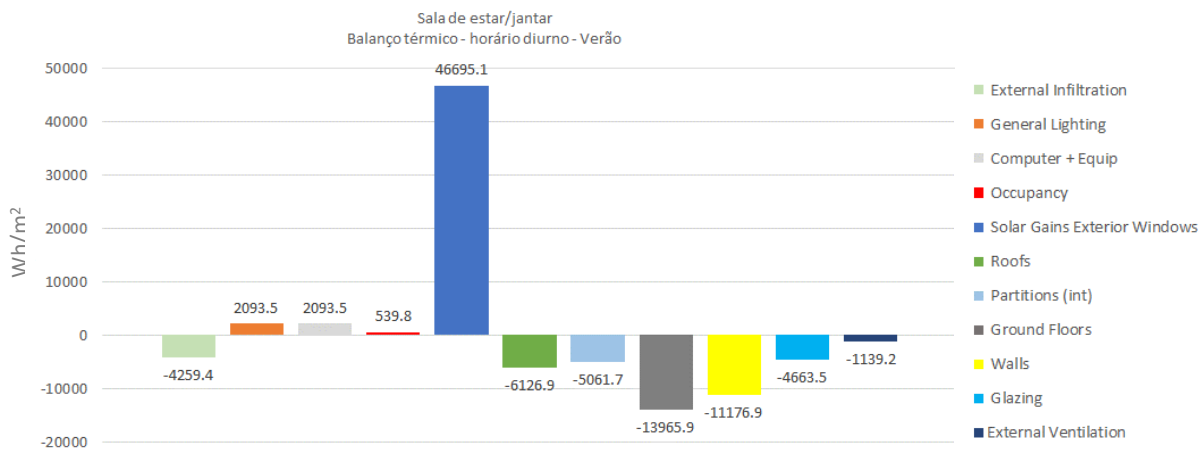


J1.26. EDIFÍCIO: BALANÇO TÉRMICO ANUAL EM HORÁRIO NOTURNO

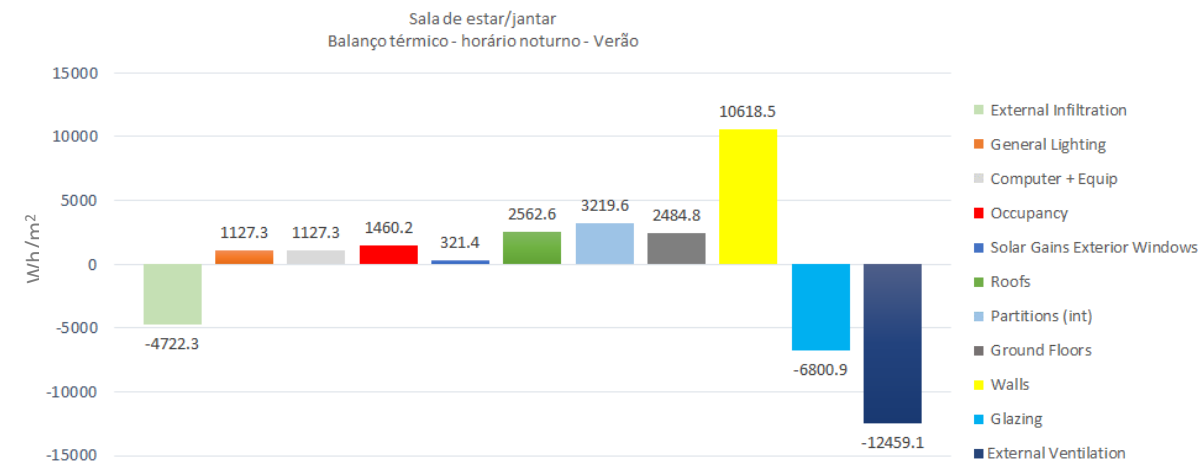


J2. SIMULAÇÃO 2

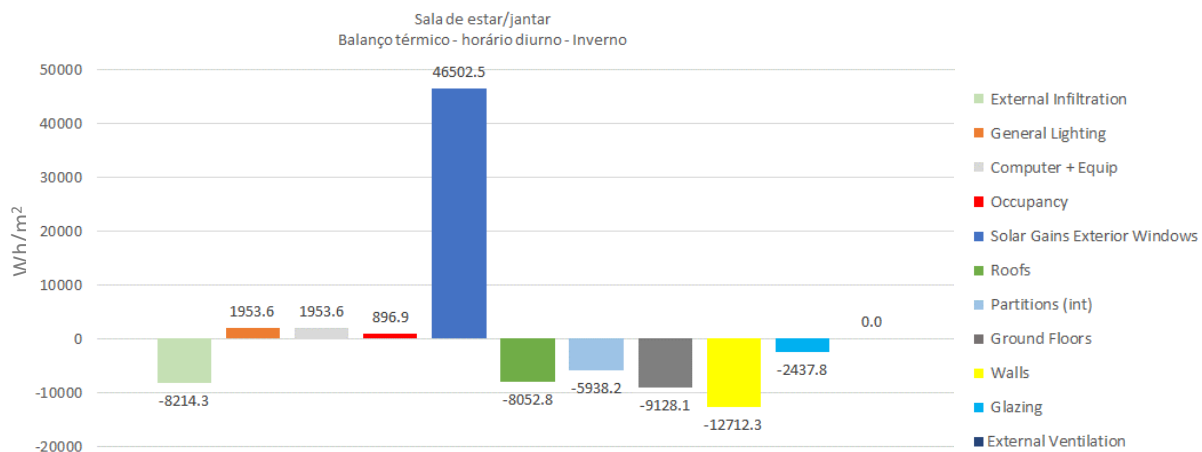
J2.1.SALA DE ESTAR/JANTAR: BALANÇO TÉRMICO DE VERÃO EM HORÁRIO DIURNO



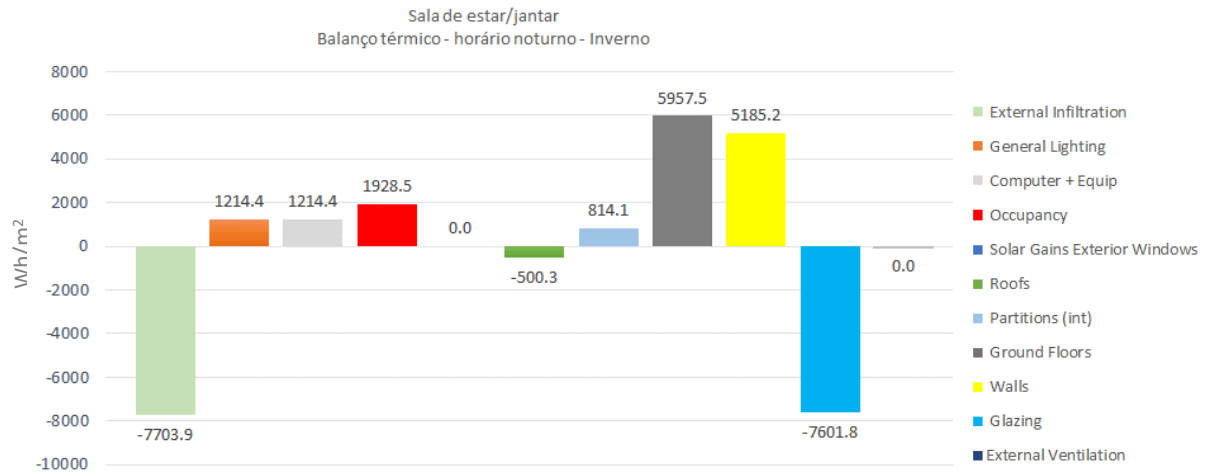
J2.2.SALA DE ESTAR/JANTAR: BALANÇO TÉRMICO DE VERÃO EM HORÁRIO NOTURNO



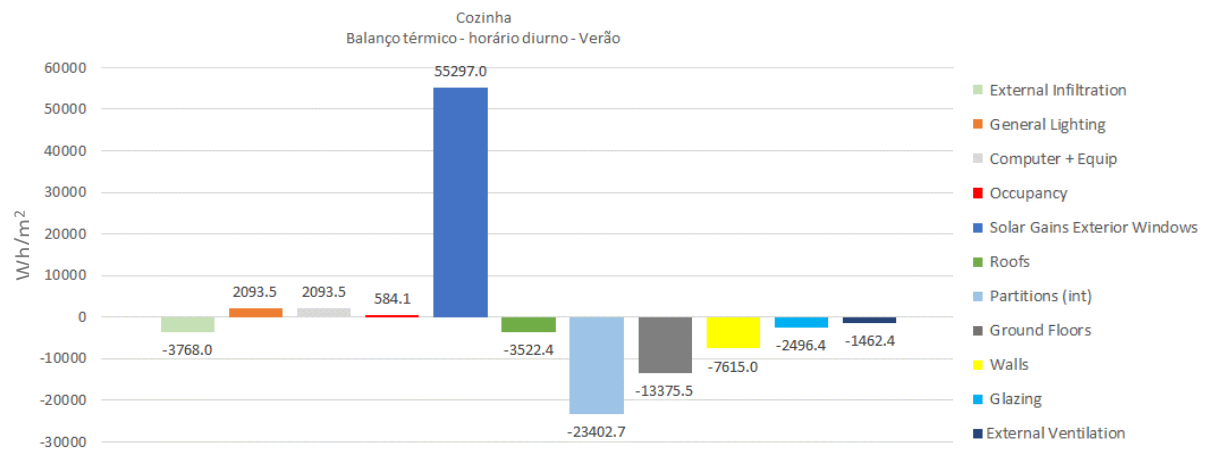
J2.3.SALA DE ESTAR/JANTAR: BALANÇO TÉRMICO DE INVERNO EM HORÁRIO DIURNO



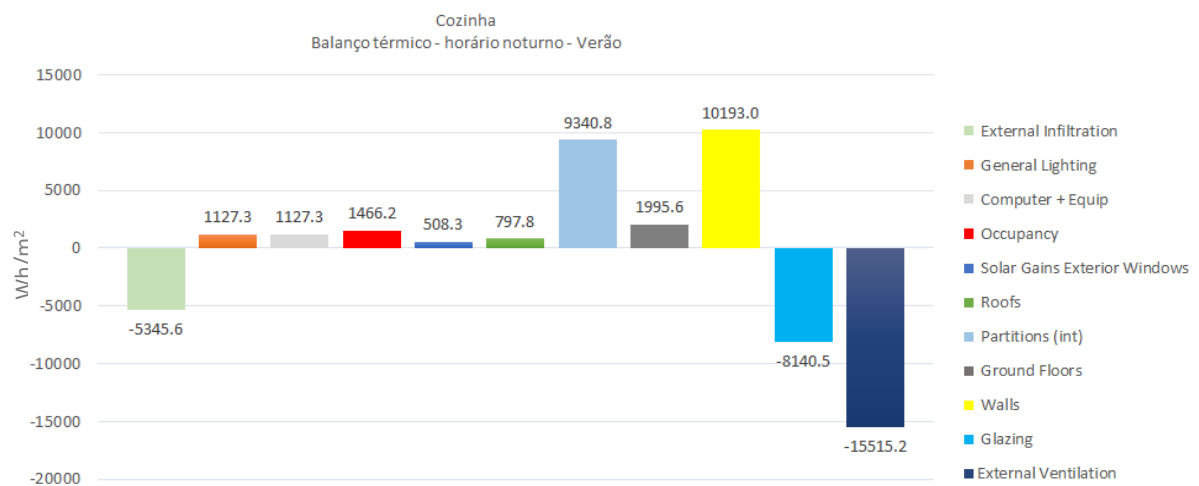
J2.4. SALA DE ESTAR/JANTAR: BALANÇO TÉRMICO DE INVERNO EM HORÁRIO NOTURNO



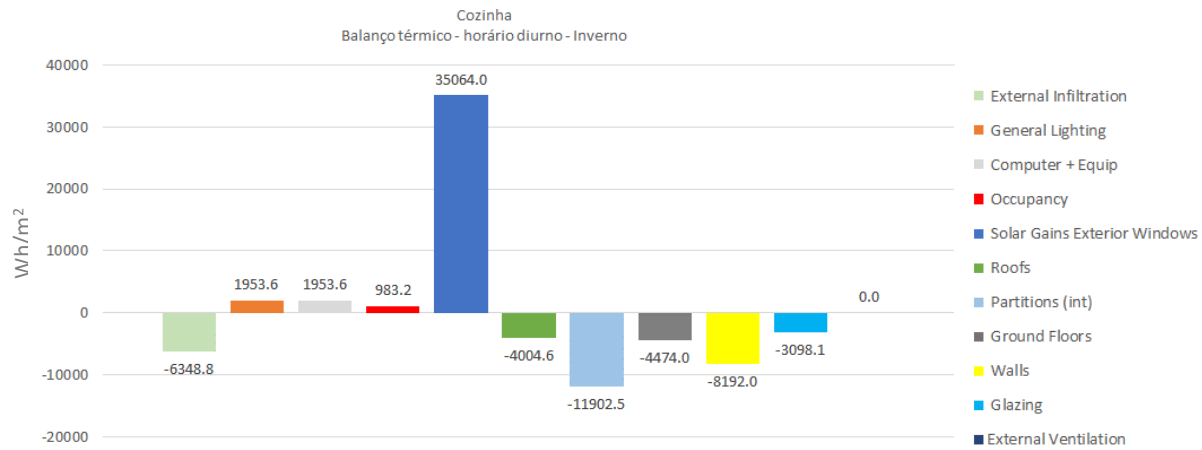
J2.5. COZINHA: BALANÇO TÉRMICO DE VERÃO EM HORÁRIO DIURNO



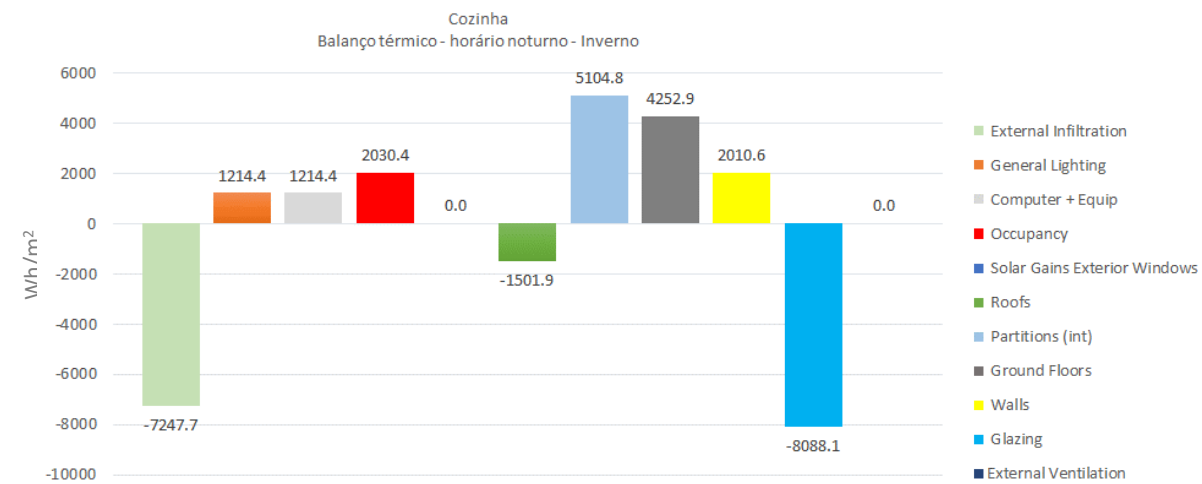
J2.6. COZINHA: BALANÇO TÉRMICO DE VERÃO EM HORÁRIO NOTURNO



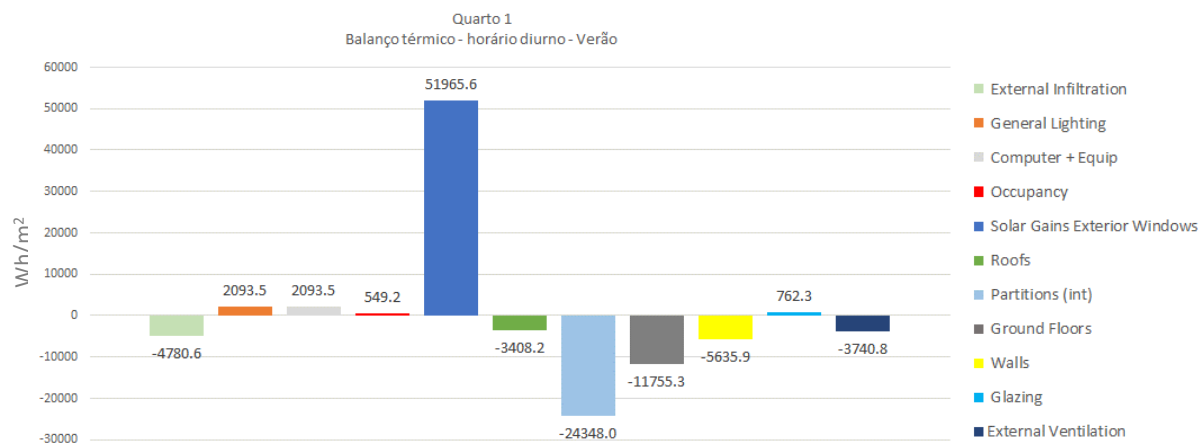
J2.7. COZINHA: BALANÇO TÉRMICO DE INVERNO EM HORÁRIO DIURNO



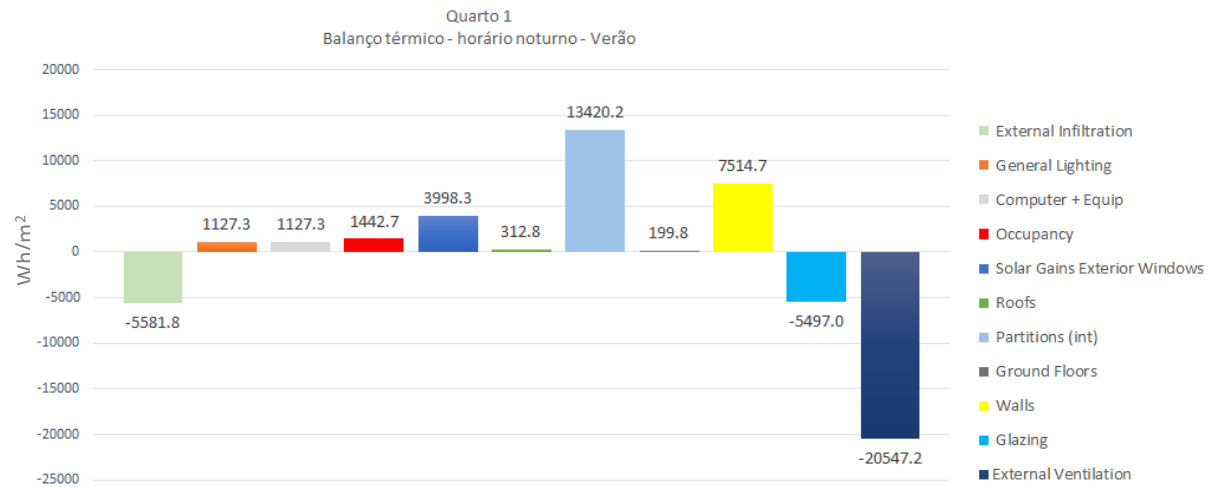
J2.8. COZINHA: BALANÇO TÉRMICO DE INVERNO EM HORÁRIO NOTURNO



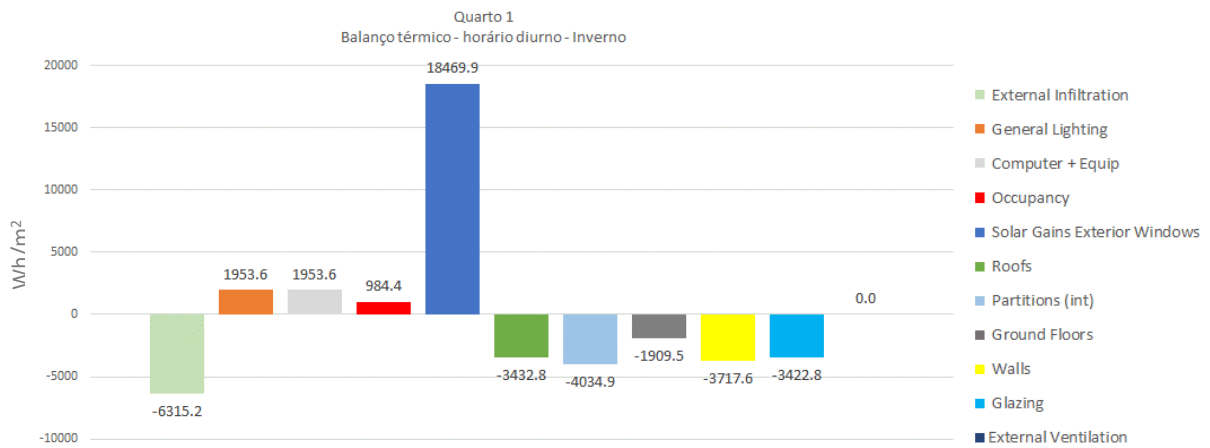
J2.9. QUARTO 1: BALANÇO TÉRMICO DE VERÃO EM HORÁRIO DIURNO



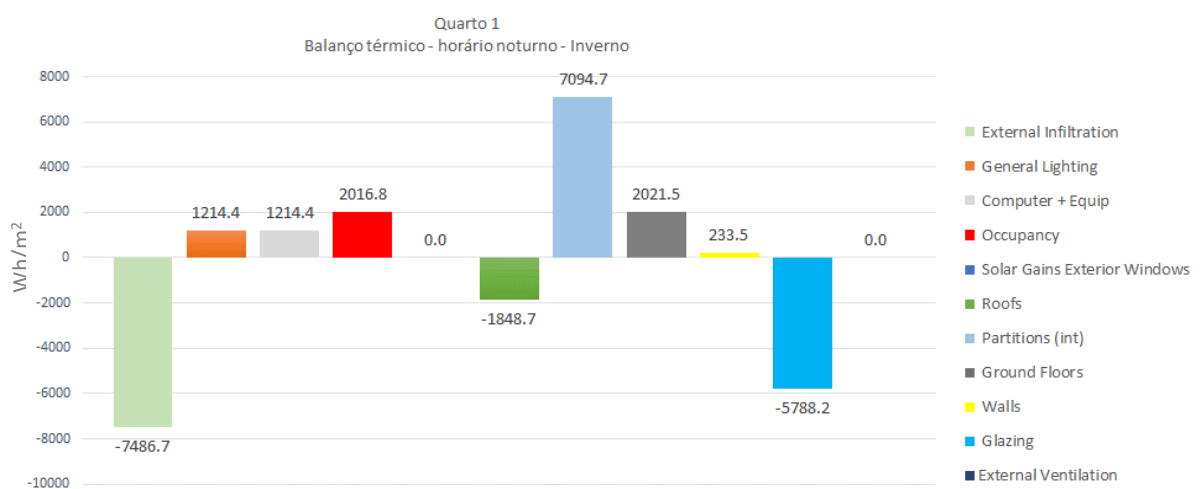
J2.10. QUARTO 1: BALANÇO TÉRMICO DE VERÃO EM HORÁRIO NOTURNO



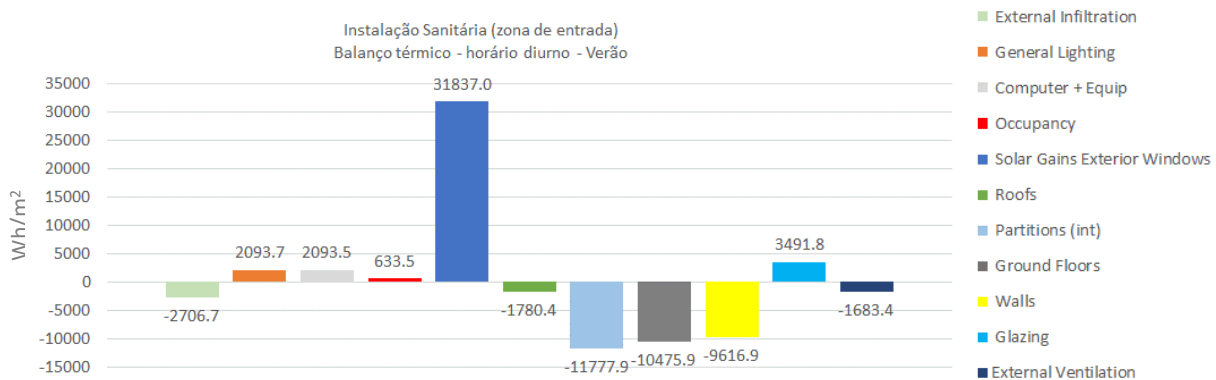
J2.11. QUARTO 1: BALANÇO TÉRMICO DE INVERNO EM HORÁRIO DIURNO



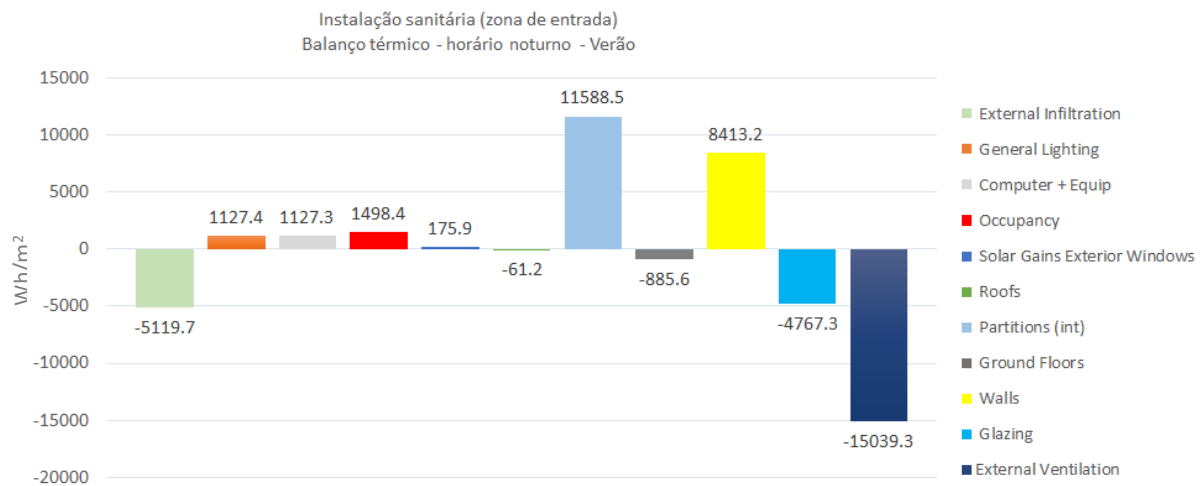
J2.12. QUARTO 1: BALANÇO TÉRMICO DE INVERNO EM HORÁRIO NOTURNO



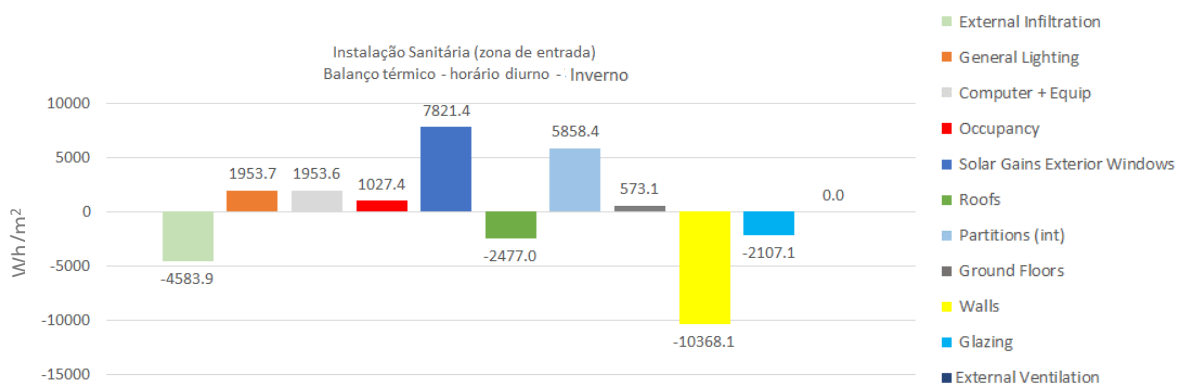
J2.13. INSTALAÇÃO SANITÁRIA (ZONA DE ENTRADA): BALANÇO TÉRMICO DE VERÃO EM HORÁRIO DIURNO



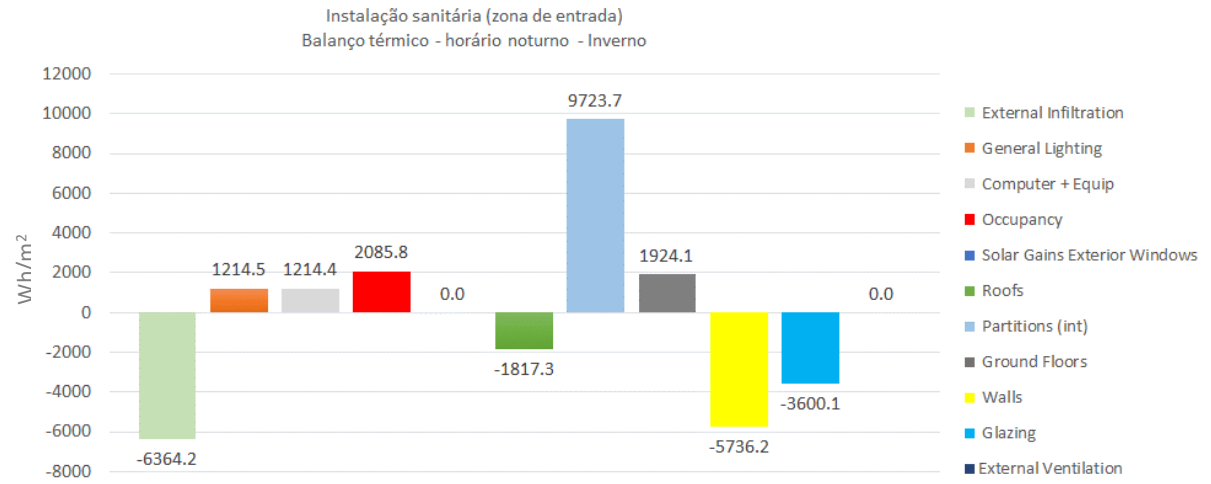
J2.14. INSTALAÇÃO SANITÁRIA (ZONA DE ENTRADA): BALANÇO TÉRMICO DE VERÃO EM HORÁRIO NOTURNO



J2.15. INSTALAÇÃO SANITÁRIA (ZONA DE ENTRADA): BALANÇO TÉRMICO DE INVERNO EM HORÁRIO DIURNO

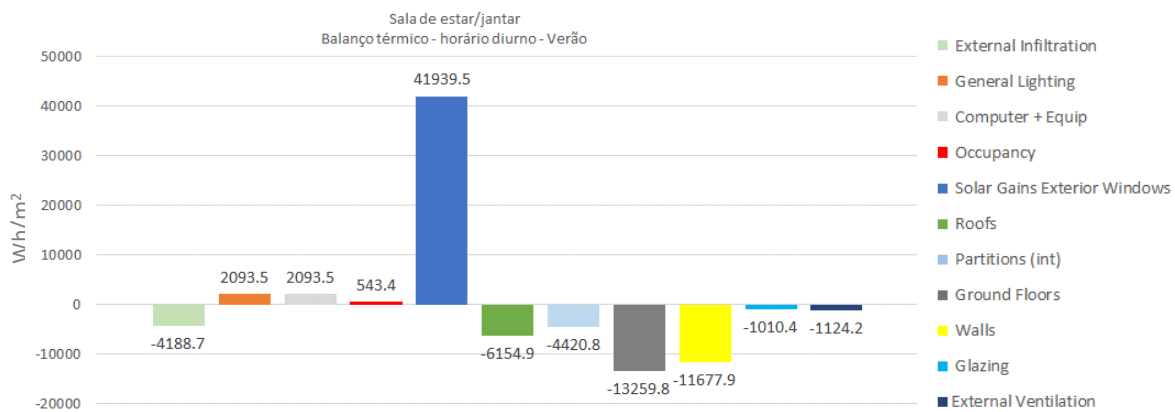


J2.16. INSTALAÇÃO SANITÁRIA (ZONA DE ENTRADA): BALANÇO TÉRMICO DE INVERNO EM HORÁRIO NOTURNO

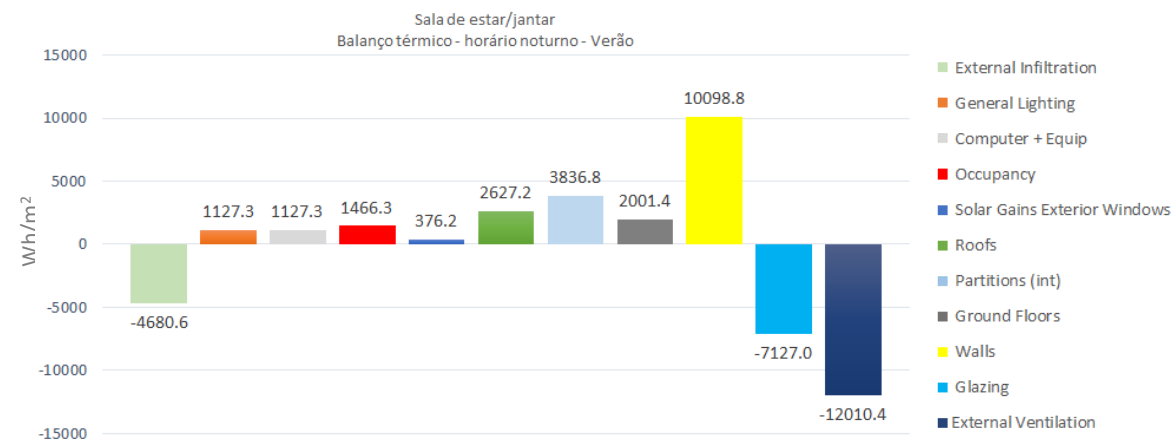


J3. SIMULAÇÃO 3

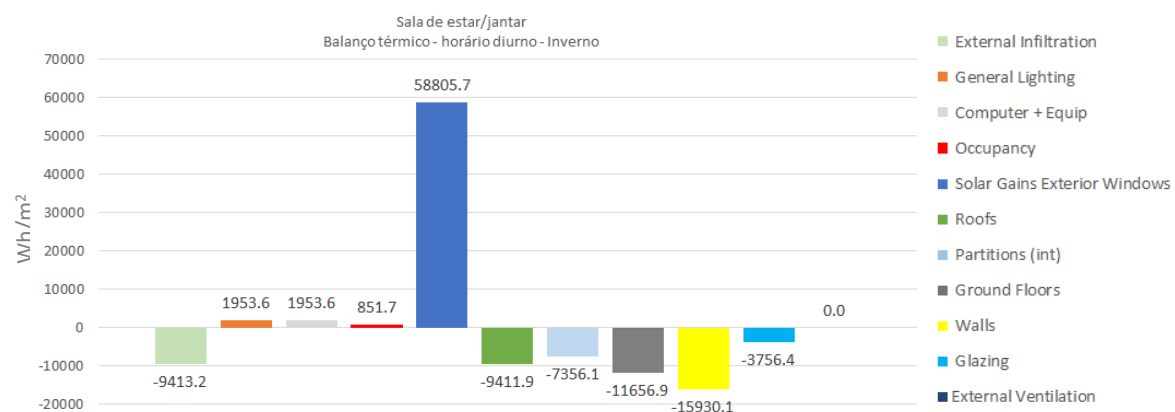
J3.1.SALA DE ESTAR/JANTAR: BALANÇO TÉRMICO DE VERÃO EM HORÁRIO DIURNO



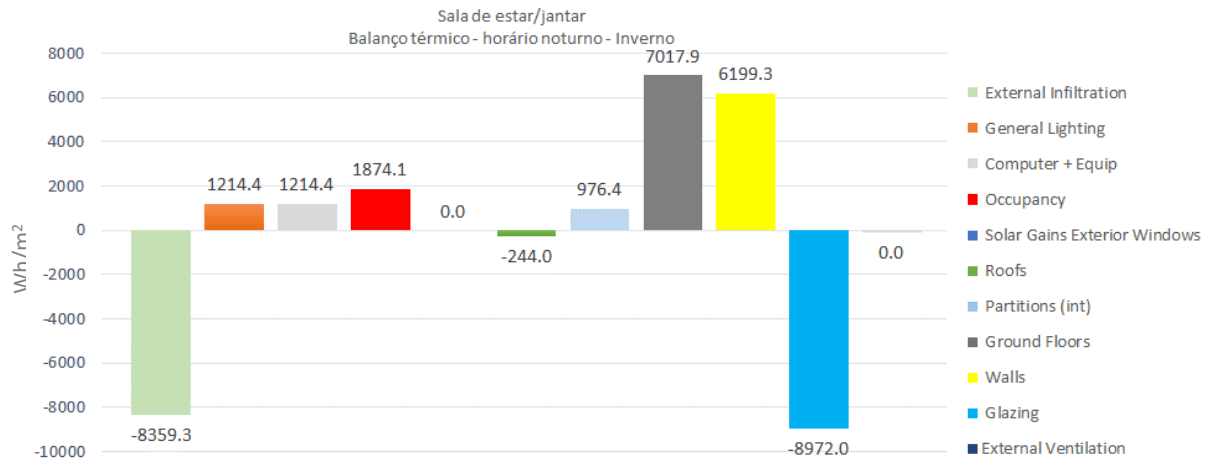
J3.2.SALA DE ESTAR/JANTAR: BALANÇO TÉRMICO DE VERÃO EM HORÁRIO NOTURNO



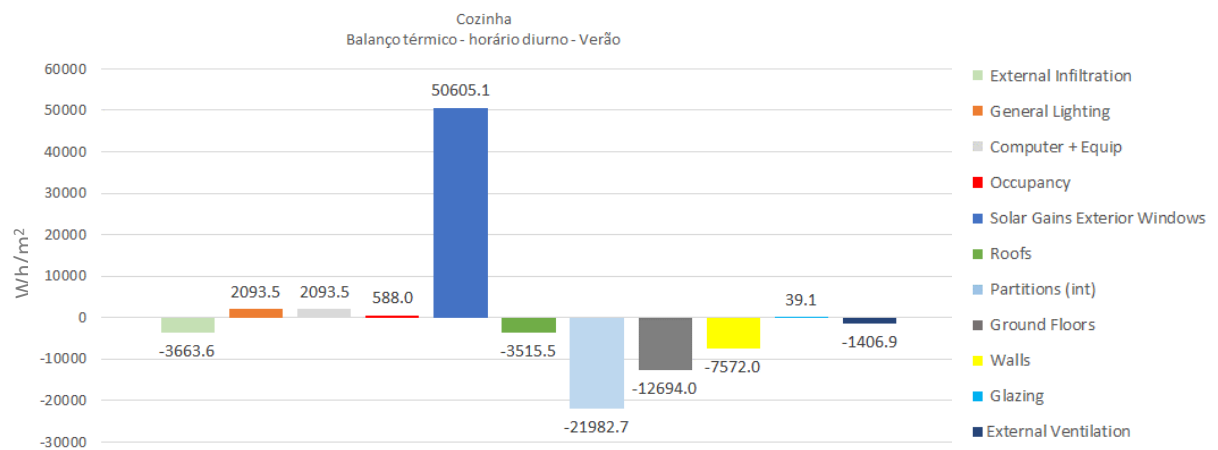
J3.3.SALA DE ESTAR/JANTAR: BALANÇO TÉRMICO DE INVERNO EM HORÁRIO DIURNO



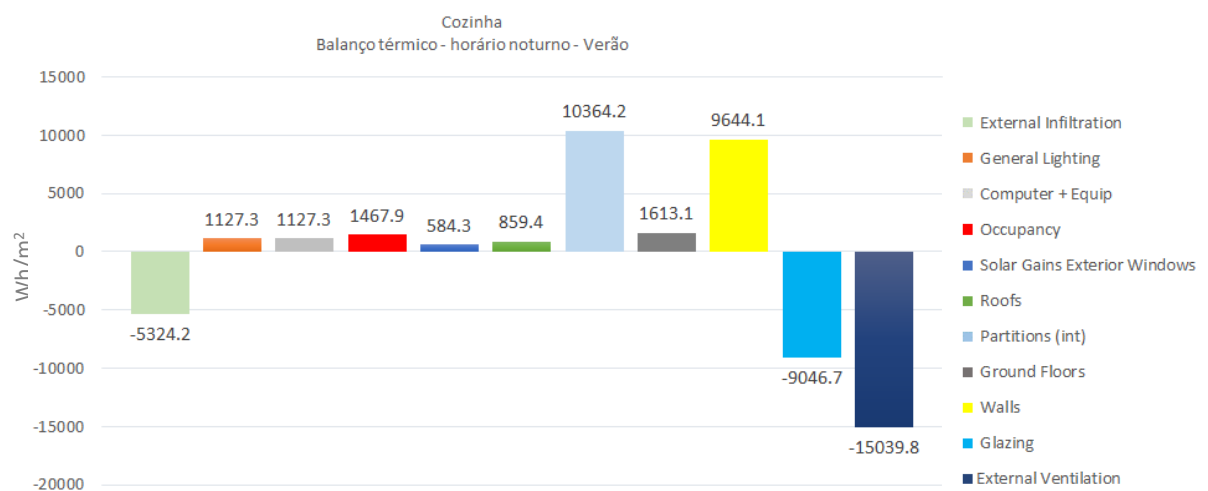
J3.4. SALA DE ESTAR/JANTAR: BALANÇO TÉRMICO DE INVERNO EM HORÁRIO NOTURNO



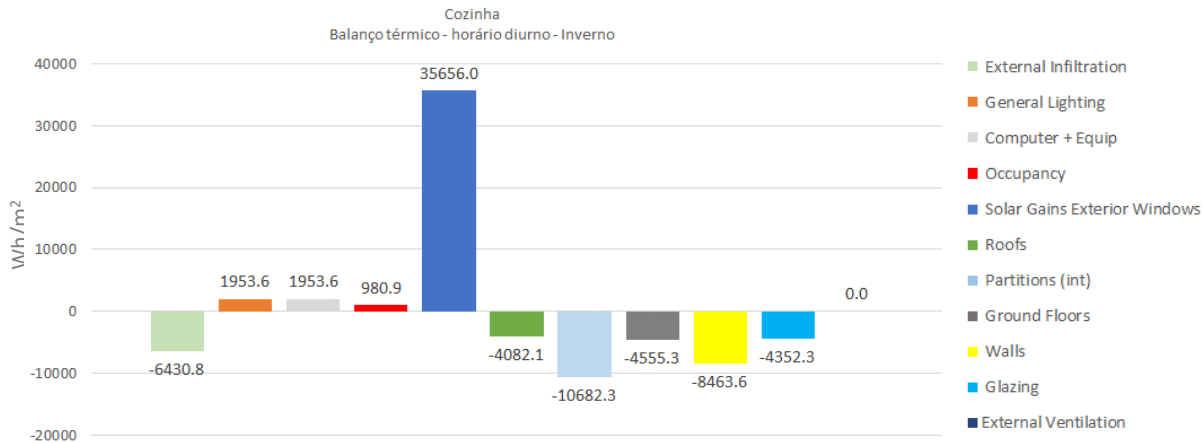
J3.5. COZINHA: BALANÇO TÉRMICO DE VERÃO EM HORÁRIO DIURNO



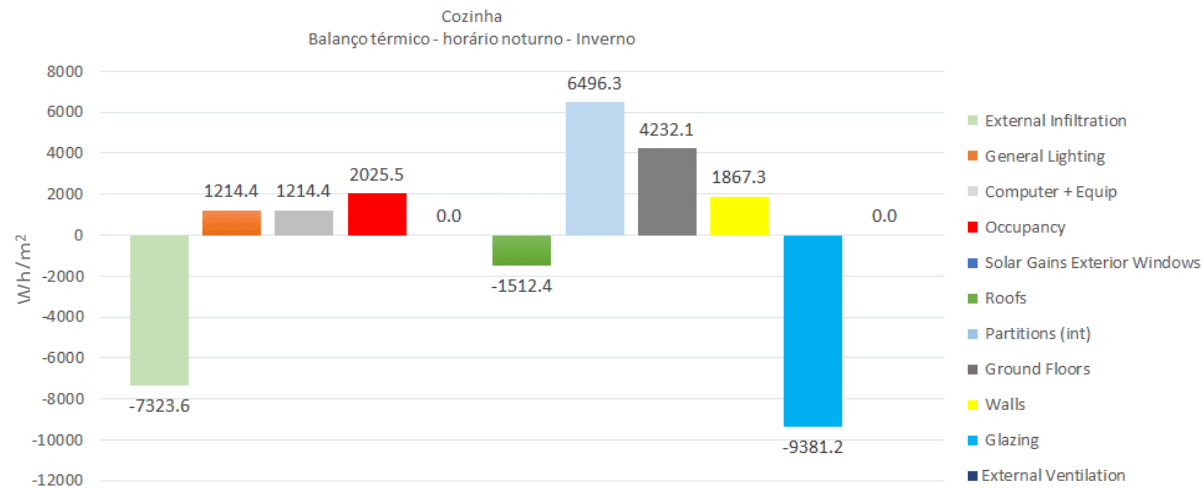
J3.6. COZINHA: BALANÇO TÉRMICO DE VERÃO EM HORÁRIO NOTURNO



J3.7. COZINHA: BALANÇO TÉRMICO DE INVERNO EM HORÁRIO DIURNO

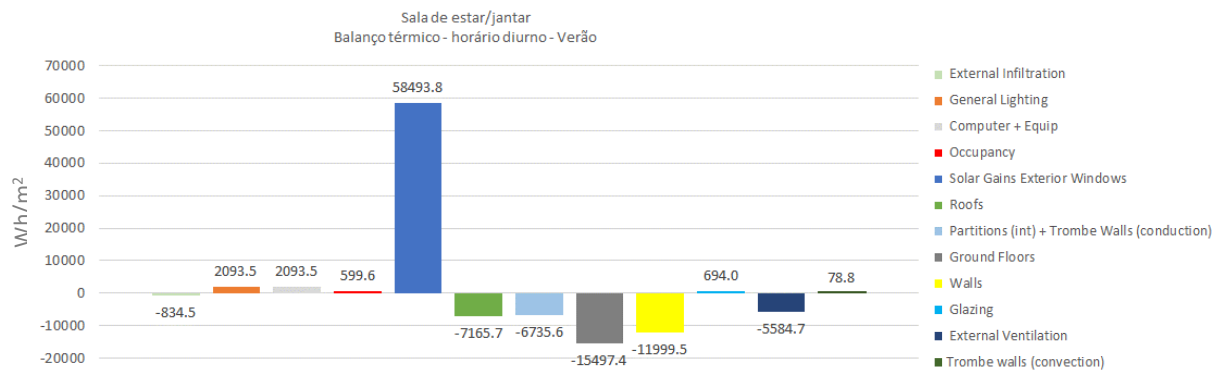


J3.8. COZINHA: BALANÇO TÉRMICO DE INVERNO EM HORÁRIO NOTURNO

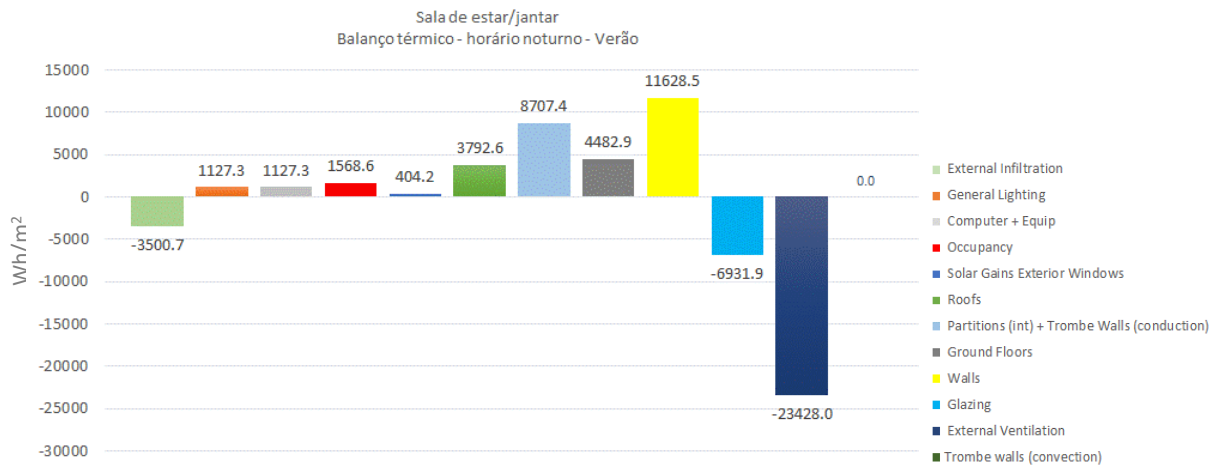


J4. SIMULAÇÃO 4.1: PAREDES TROMBE VENTILADAS 1 E 2

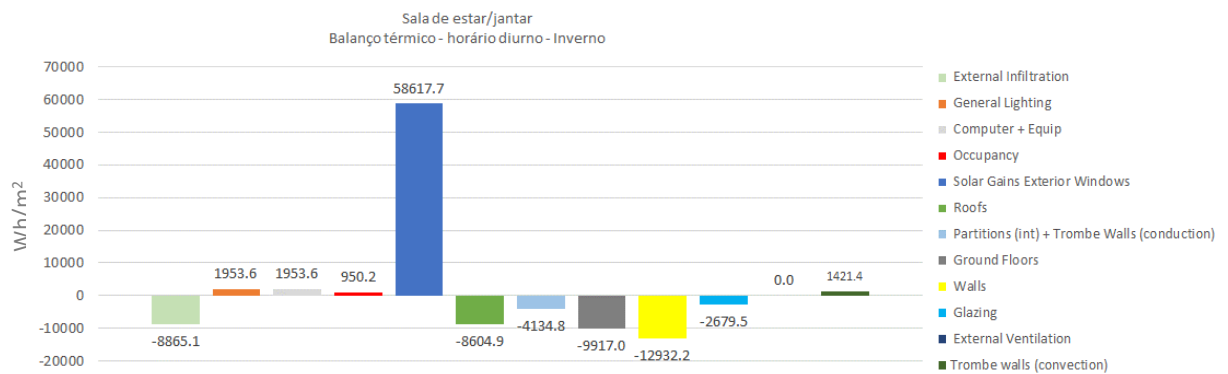
J4.1.SALA DE ESTAR/JANTAR: BALANÇO TÉRMICO DE VERÃO EM HORÁRIO DIURNO



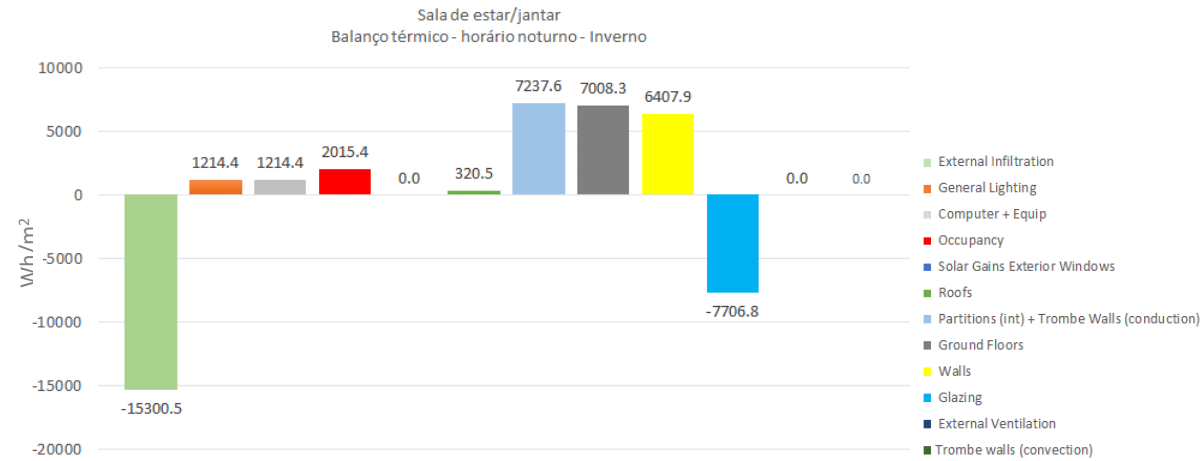
J4.2.SALA DE ESTAR/JANTAR: BALANÇO TÉRMICO DE VERÃO EM HORÁRIO NOTURNO



J4.3.SALA DE ESTAR/JANTAR: BALANÇO TÉRMICO DE INVERNO EM HORÁRIO DIURNO

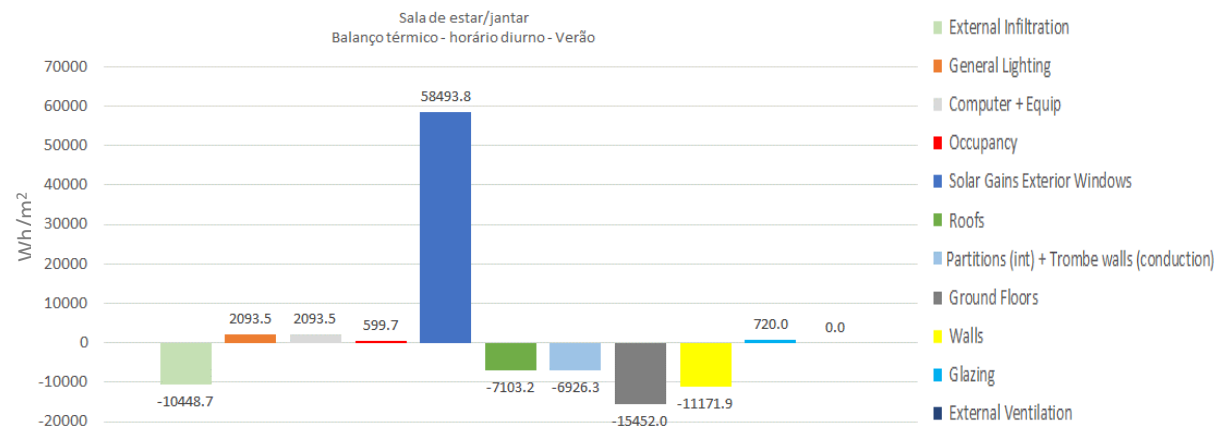


J4.4. SALA DE ESTAR/JANTAR: BALANÇO TÉRMICO DE INVERNO EM HORÁRIO NOTURNO

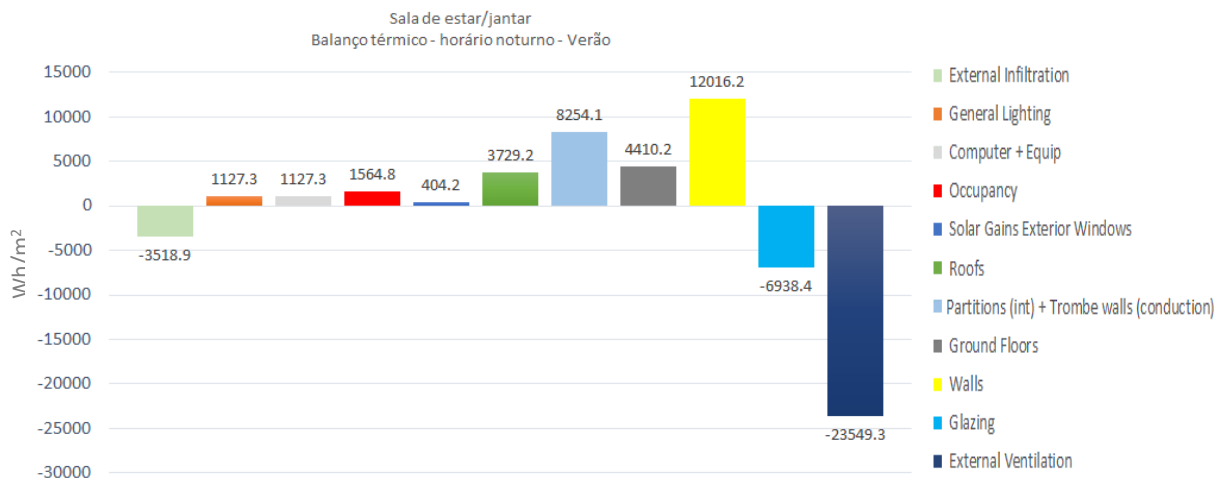


J5. SIMULAÇÃO 4.2: PAREDES TROMBE NÃO VENTILADAS 1 E 2

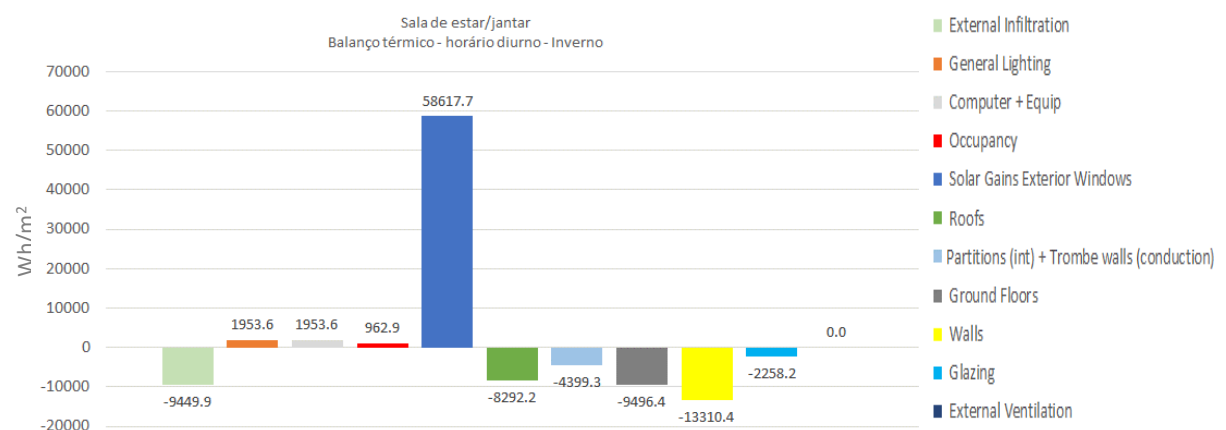
J5.1.SALA DE ESTAR/JANTAR: BALANÇO TÉRMICO DE VERÃO EM HORÁRIO DIURNO



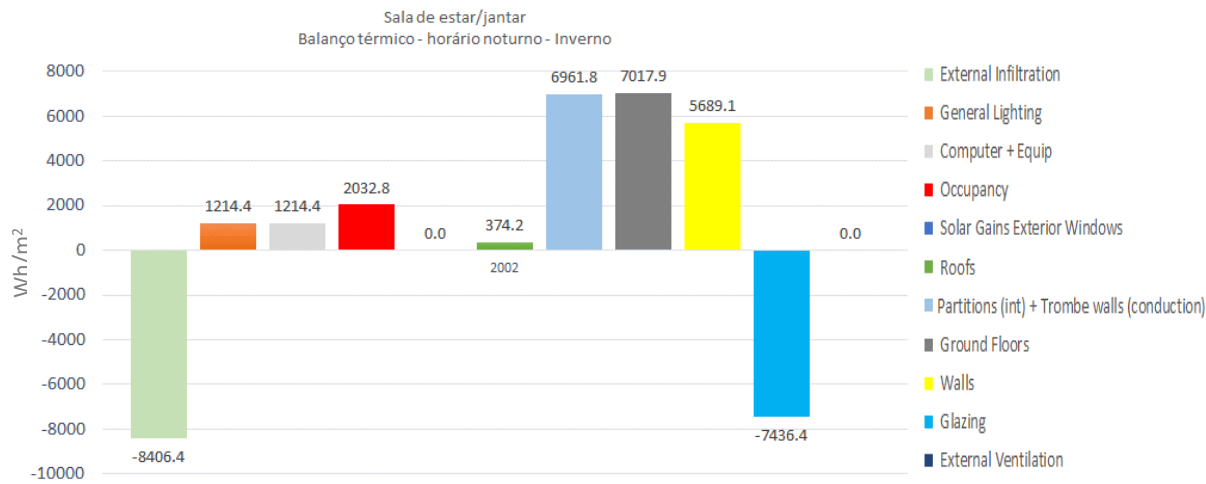
J5.2.SALA DE ESTAR/JANTAR: BALANÇO TÉRMICO DE VERÃO EM HORÁRIO NOTURNO



J5.3.SALA DE ESTAR/JANTAR: BALANÇO TÉRMICO DE INVERNO EM HORÁRIO DIURNO

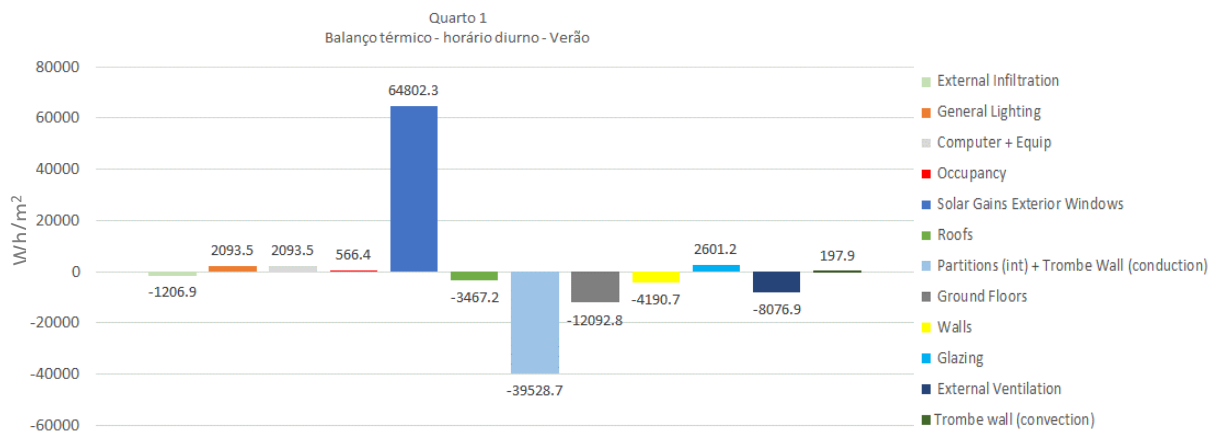


J5.4. SALA DE ESTAR/JANTAR: BALANÇO TÉRMICO DE INVERNO EM HORÁRIO NOTURNO

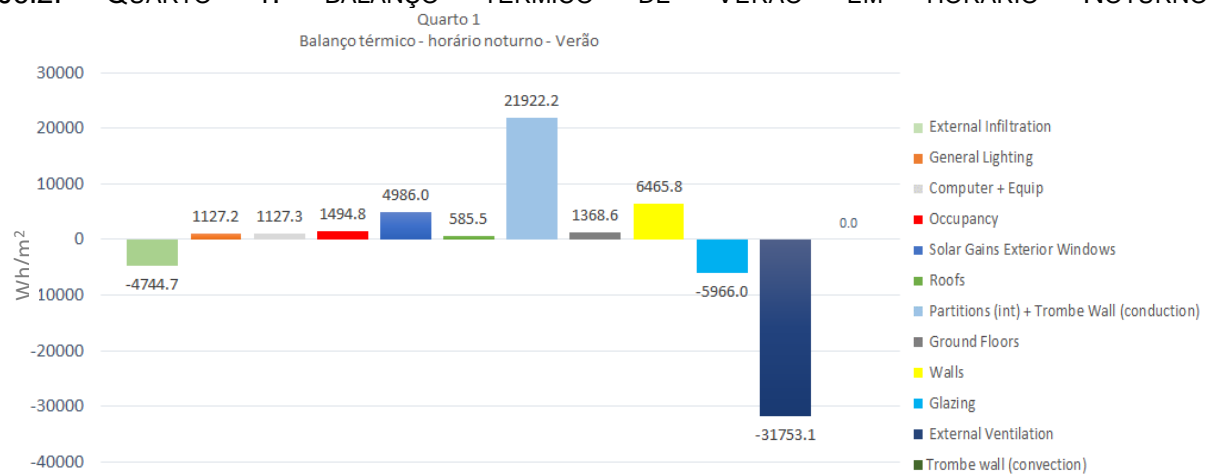


J6. SIMULAÇÃO 5.1: PAREDE TROMBE VENTILADA 3

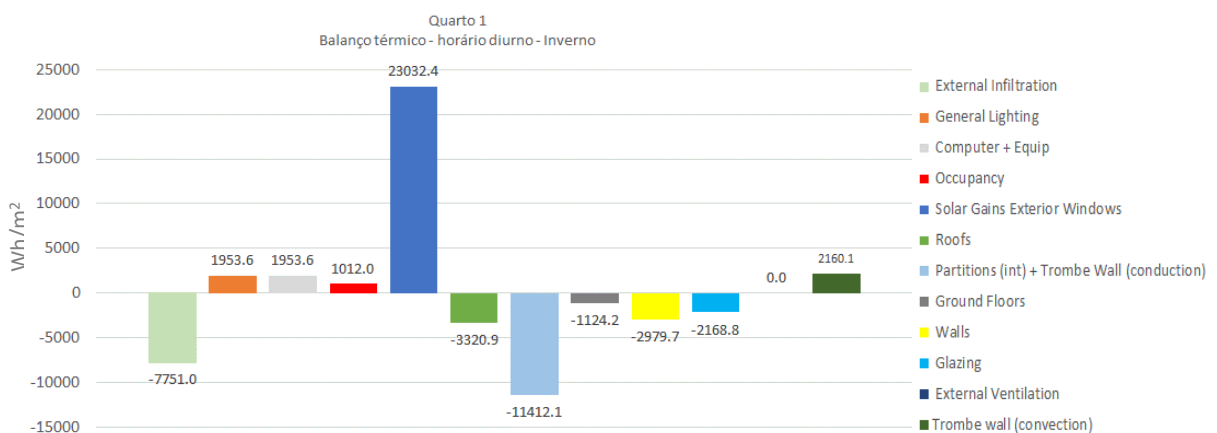
J6.1. QUARTO 1: BALANÇO TÉRMICO DE VERÃO EM HORÁRIO DIURNO



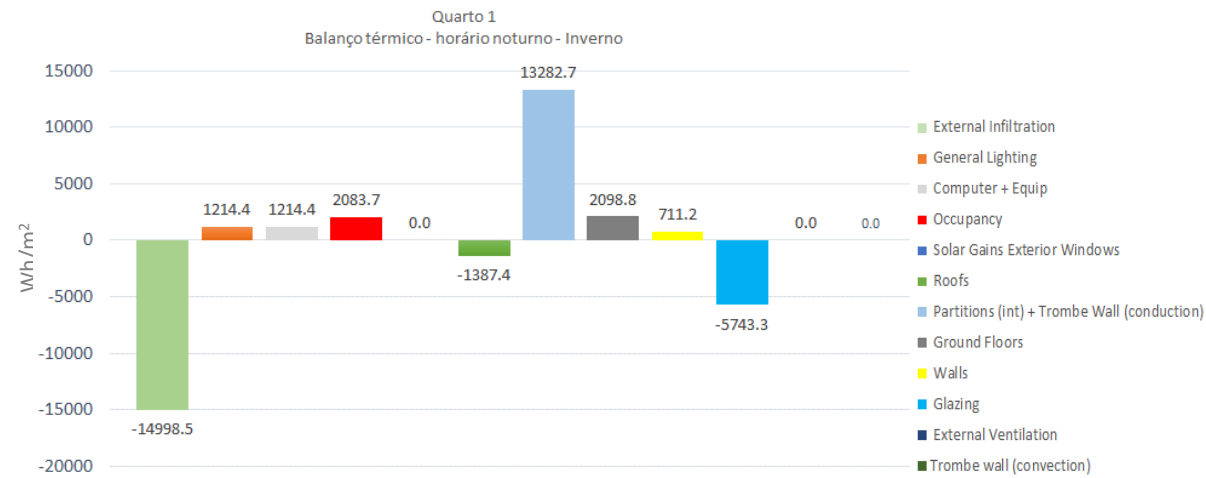
J6.2. QUARTO 1: BALANÇO TÉRMICO DE VERÃO EM HORÁRIO NOTURNO



J6.3. QUARTO 1: BALANÇO TÉRMICO DE INVERNO EM HORÁRIO DIURNO

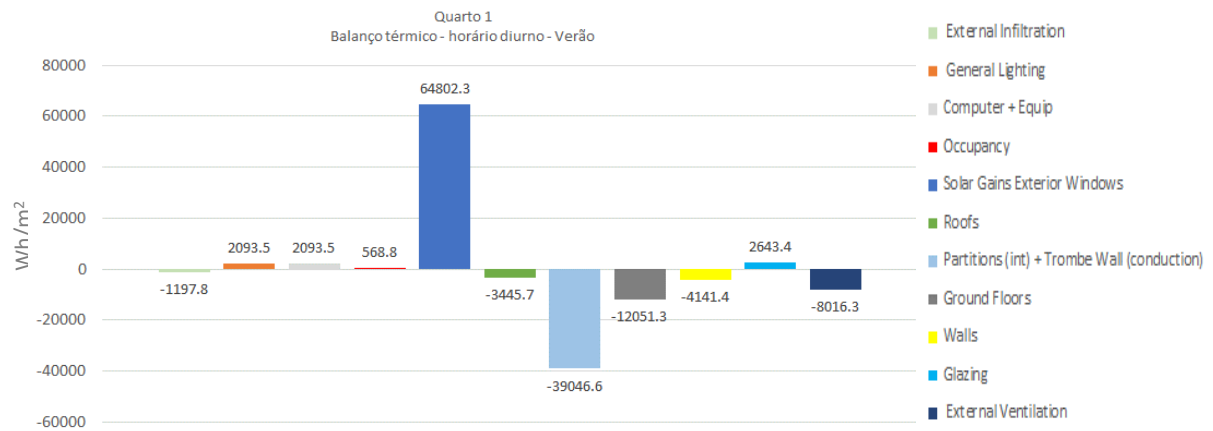


J6.4. QUARTO 1: BALANÇO TÉRMICO DE INVERNO EM HORÁRIO NOTURNO

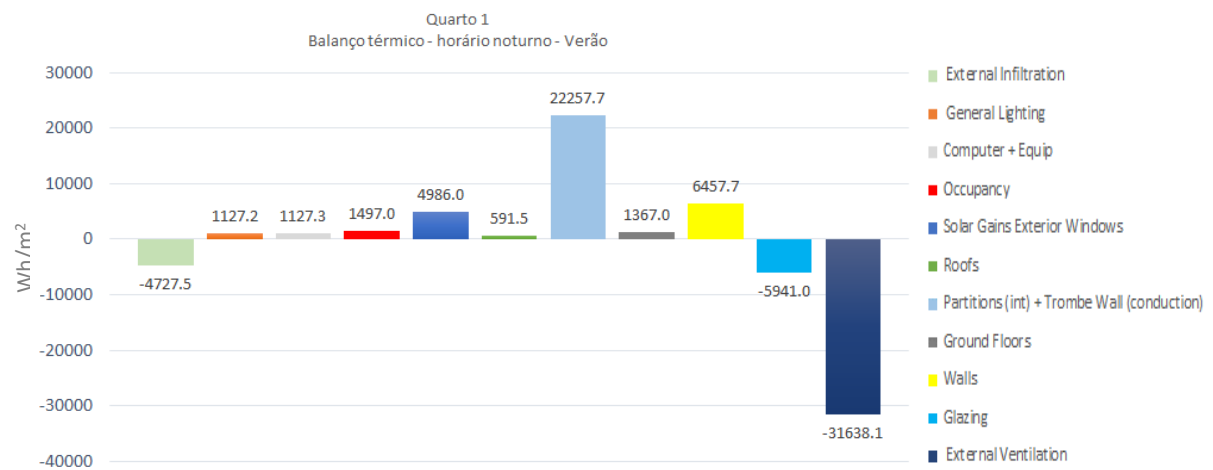


J7. SIMULAÇÃO 5.2: PAREDE TROMBE NÃO VENTILADA 3

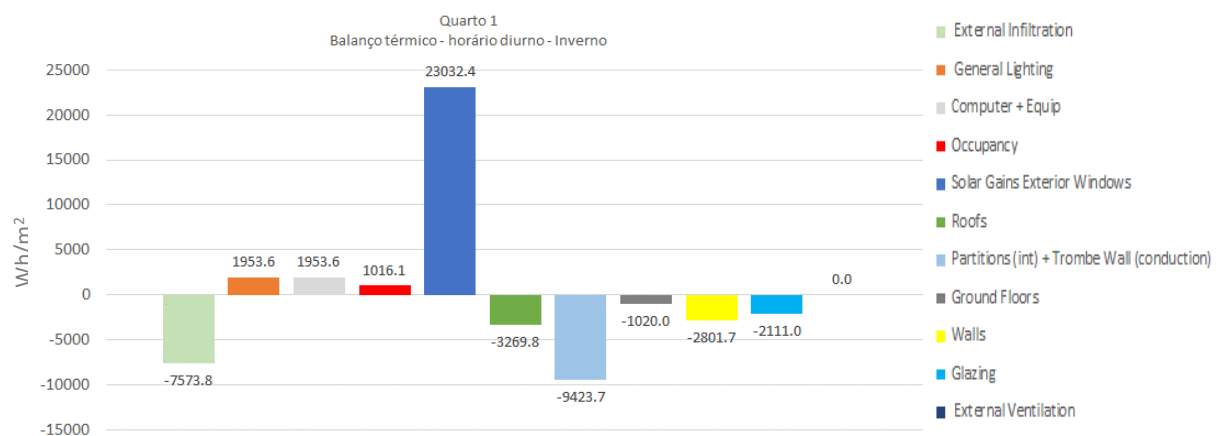
J7.1. QUARTO 1: BALANÇO TÉRMICO DE VERÃO EM HORÁRIO DIURNO



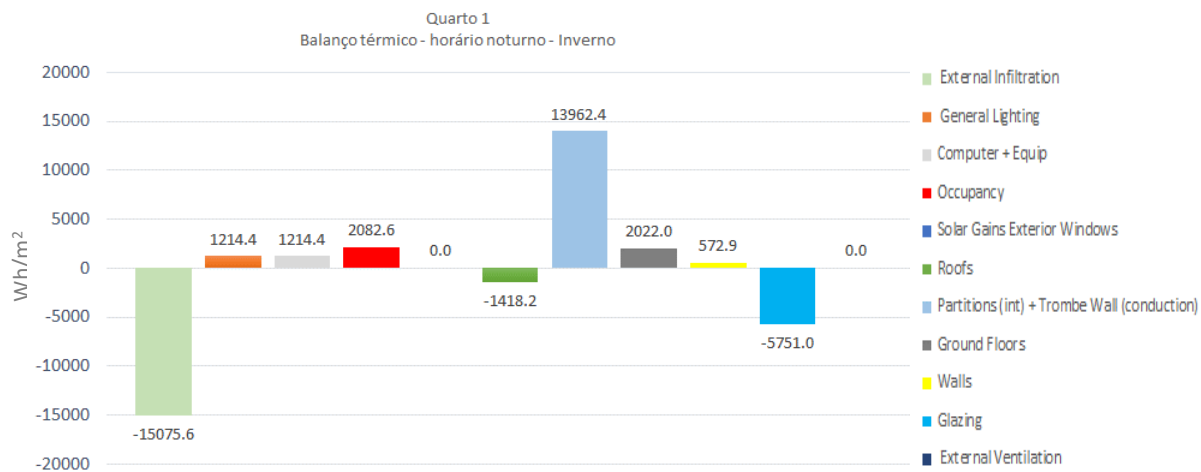
J7.2. QUARTO 1: BALANÇO TÉRMICO DE VERÃO EM HORÁRIO NOTURNO



J7.3. QUARTO 1: BALANÇO TÉRMICO DE INVERNO EM HORÁRIO DIURNO

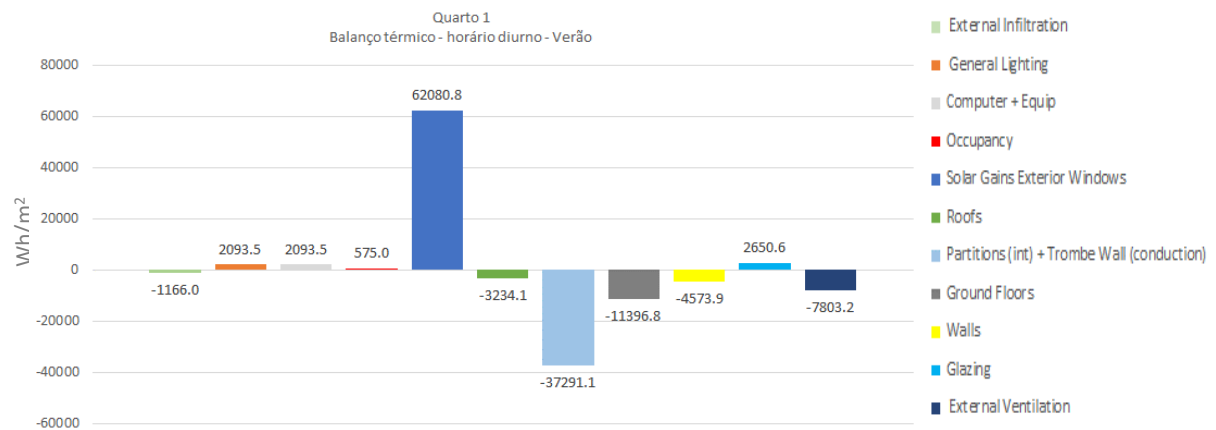


J7.4. QUARTO 1: BALANÇO TÉRMICO DE INVERNO EM HORÁRIO NOTURNO

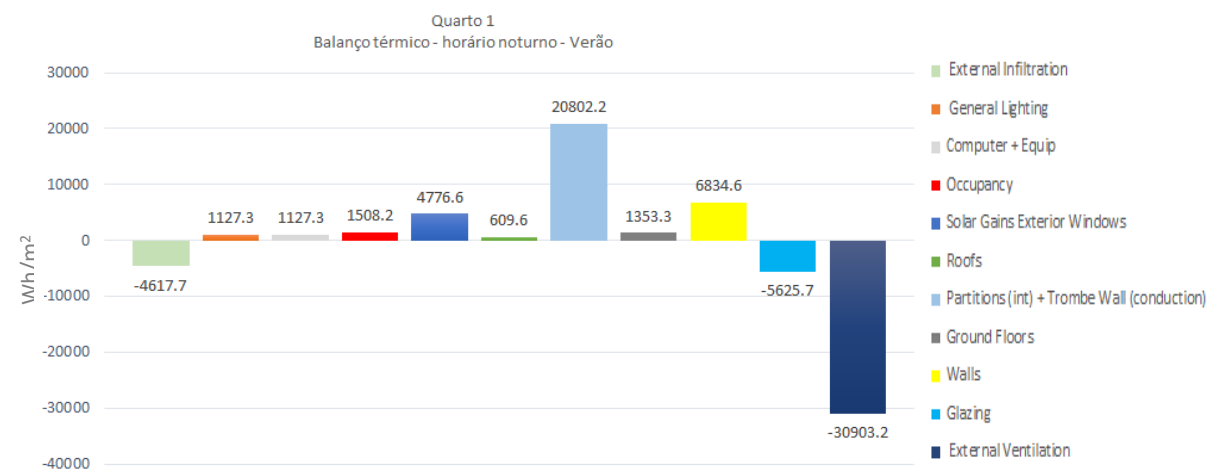


J8. SIMULAÇÃO 6: PAREDE TROMBE NÃO VENTILADA 4

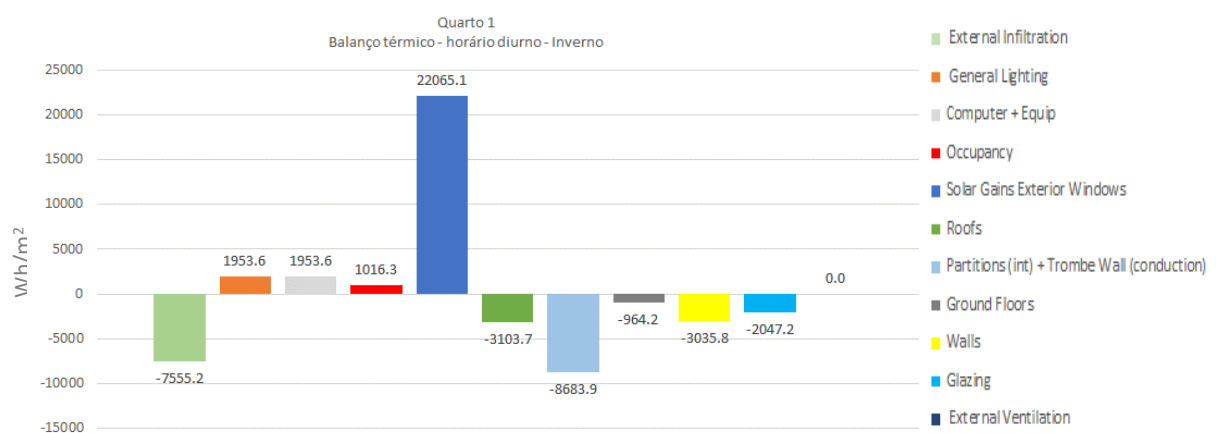
J8.1. QUARTO 1: BALANÇO TÉRMICO DE VERÃO EM HORÁRIO DIURNO



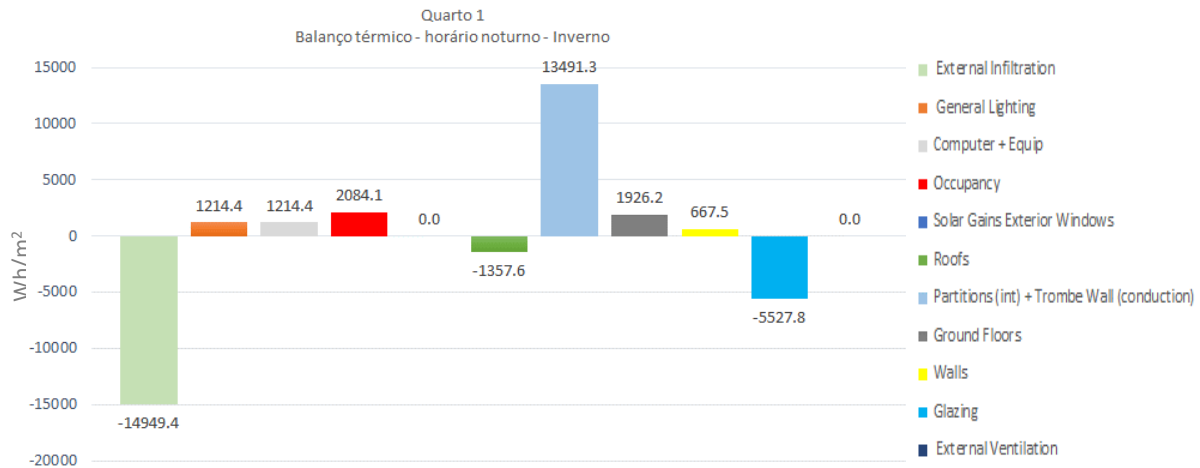
J8.2. QUARTO 1: BALANÇO TÉRMICO DE VERÃO EM HORÁRIO NOTURNO



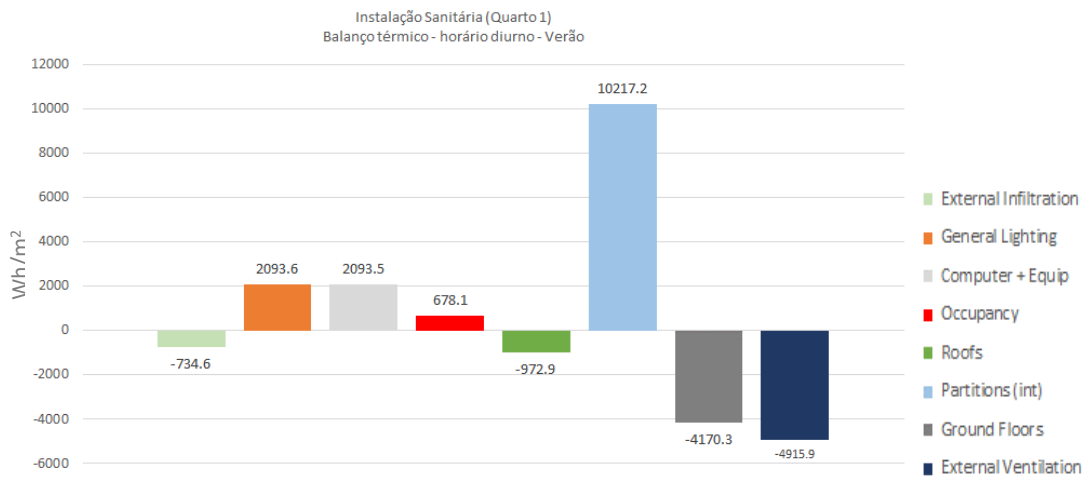
J8.3. QUARTO 1: BALANÇO TÉRMICO DE INVERNO EM HORÁRIO DIURNO



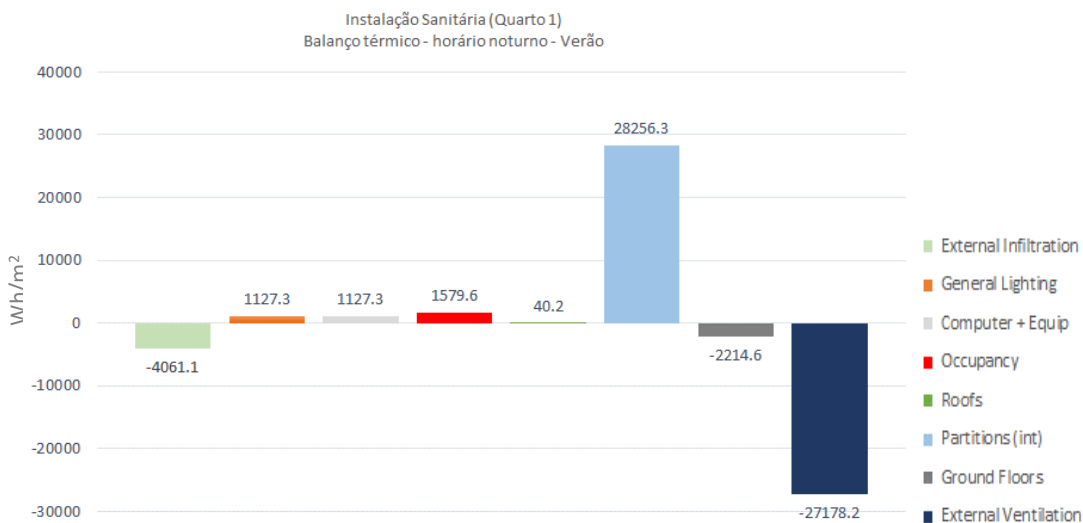
J8.4. QUARTO 1: BALANÇO TÉRMICO DE INVERNO EM HORÁRIO NOTURNO



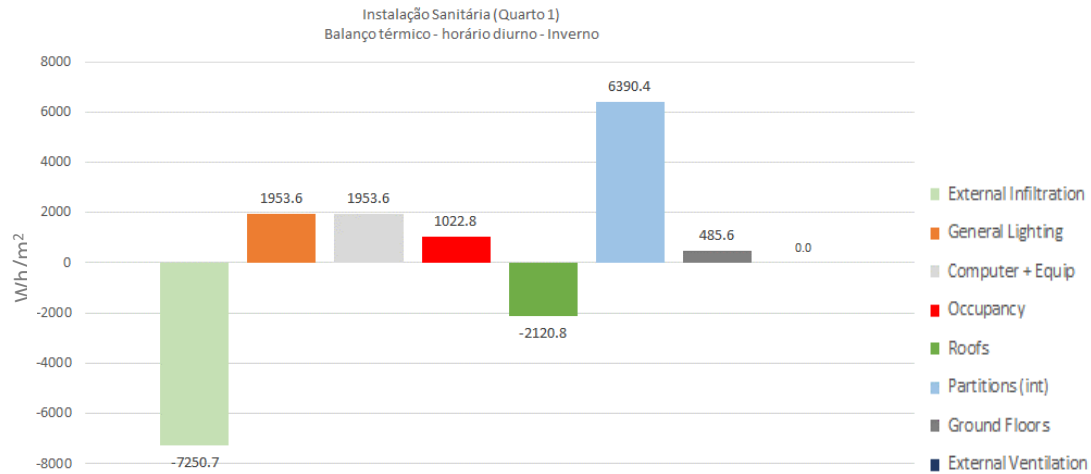
J8.5. INSTALAÇÃO SANITÁRIA (QUARTO 1): BALANÇO TÉRMICO DE VERÃO EM HORÁRIO DIURNO



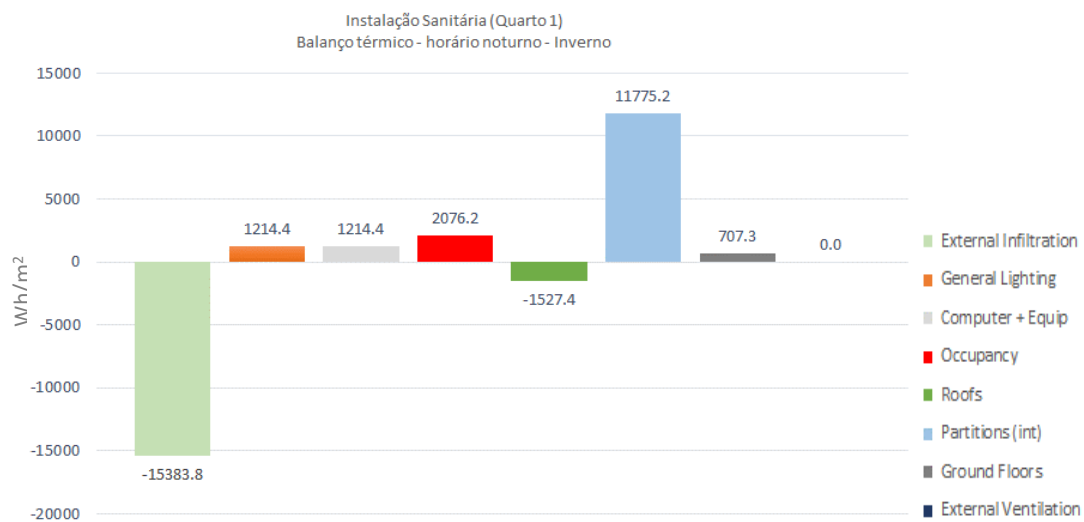
J8.6. INSTALAÇÃO SANITÁRIA (QUARTO 1): BALANÇO TÉRMICO DE VERÃO EM HORÁRIO NOTURNO



J8.7. INSTALAÇÃO SANITÁRIA (QUARTO 1): BALANÇO TÉRMICO DE INVERNO EM HORÁRIO DIURNO

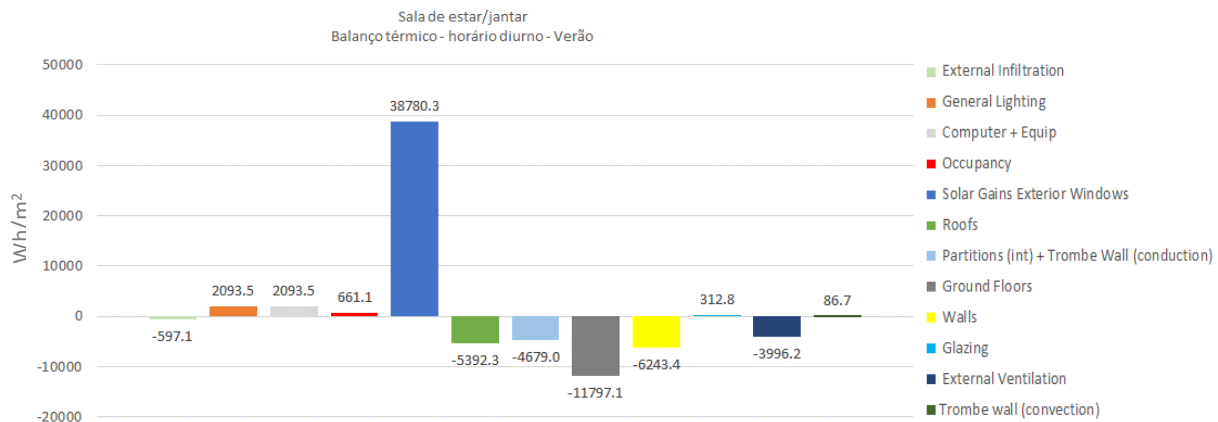


J8.8. INSTALAÇÃO SANITÁRIA (QUARTO 1): BALANÇO TÉRMICO DE INVERNO EM HORÁRIO NOTURNO

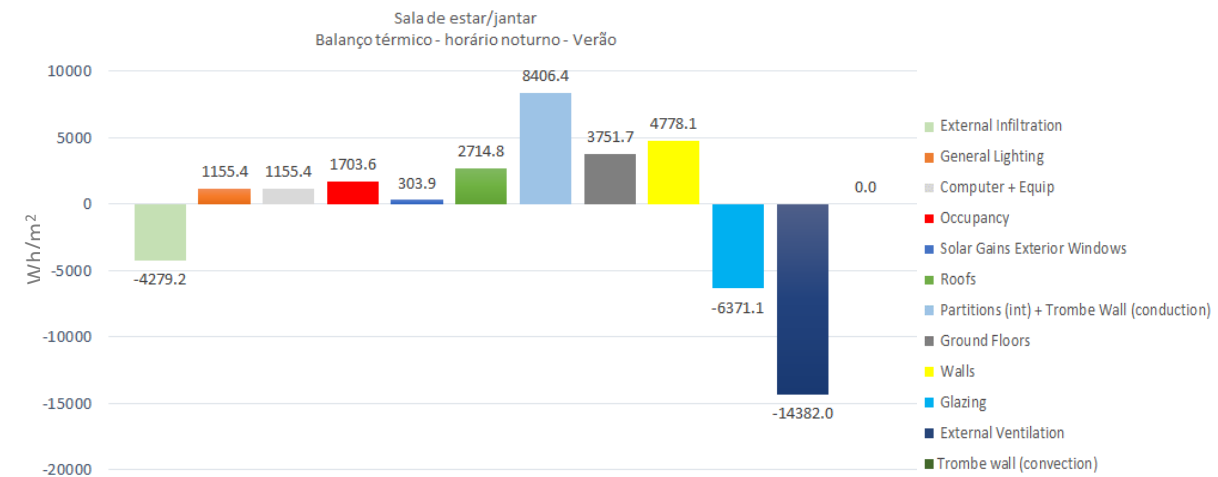


J9. SIMULAÇÃO 7.1

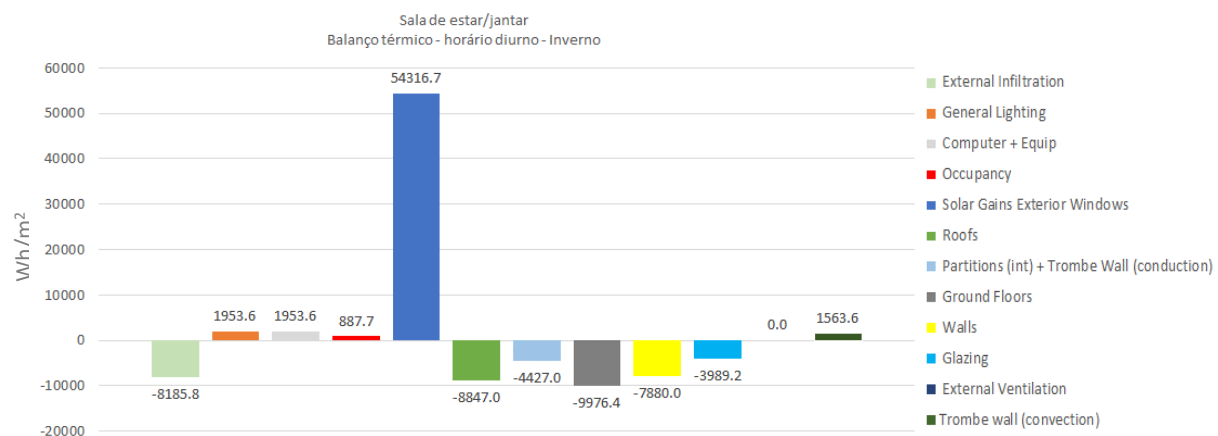
J9.1.SALA DE ESTAR/JANTAR: BALANÇO TÉRMICO DE VERÃO EM HORÁRIO DIURNO



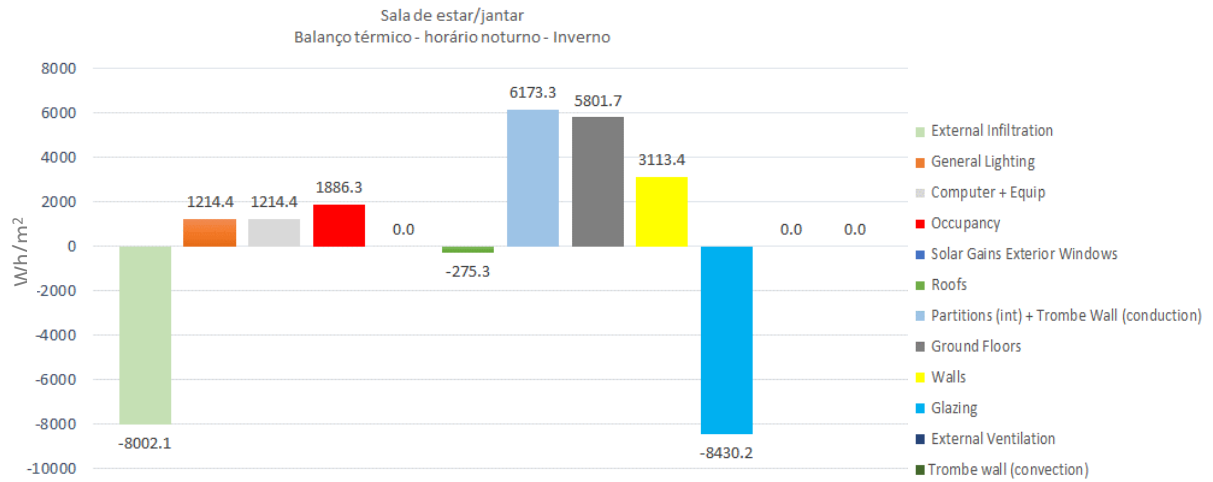
J9.2.SALA DE ESTAR/JANTAR: BALANÇO TÉRMICO DE VERÃO EM HORÁRIO NOTURNO



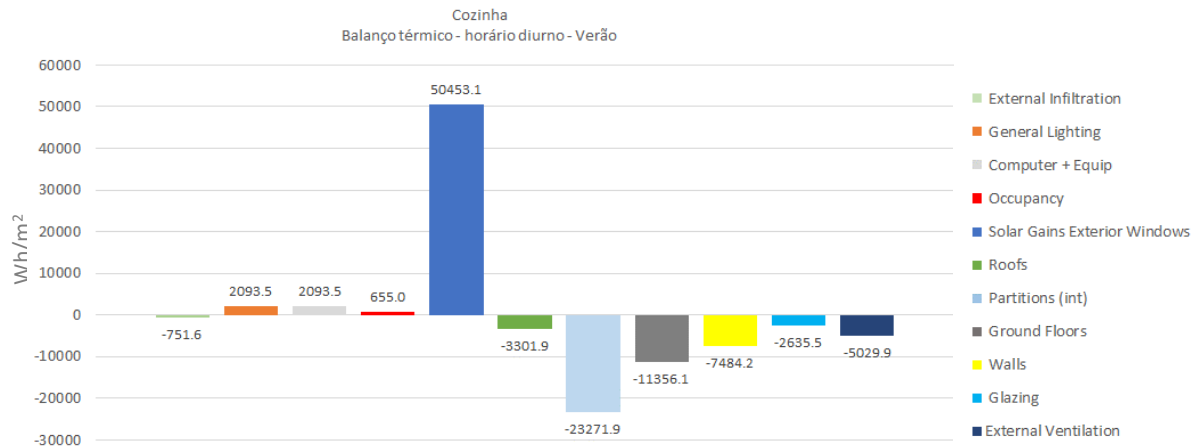
J9.3.SALA DE ESTAR/JANTAR: BALANÇO TÉRMICO DE INVERNO EM HORÁRIO DIURNO



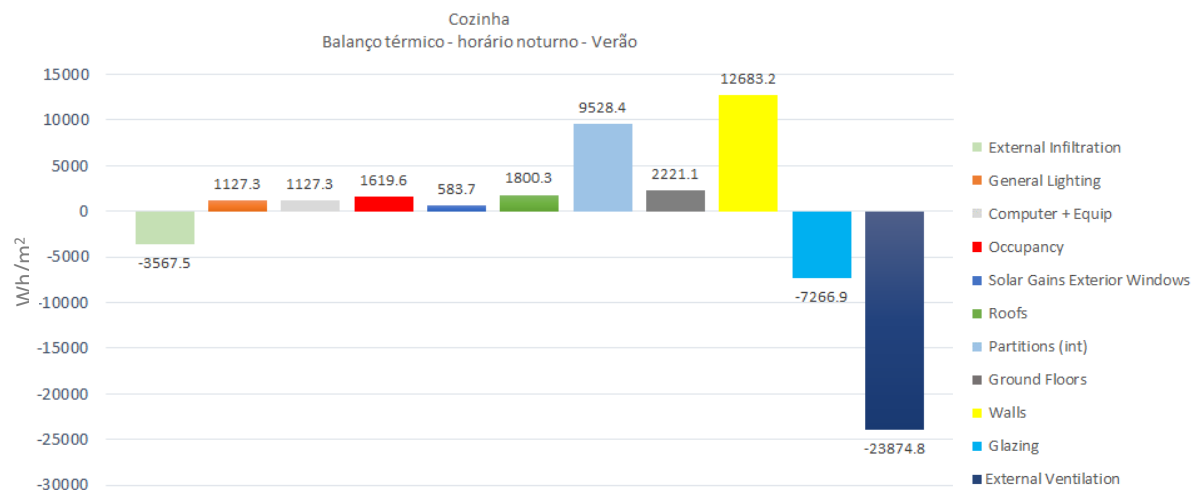
J9.4. SALA DE ESTAR/JANTAR: BALANÇO TÉRMICO DE INVERNO EM HORÁRIO NOTURNO



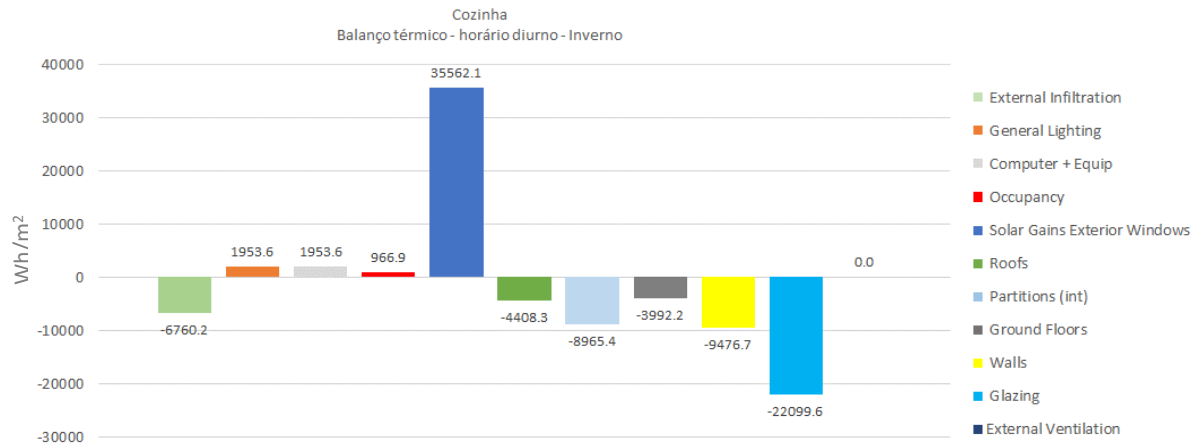
J9.5. COZINHA: BALANÇO TÉRMICO DE VERÃO EM HORÁRIO DIURNO



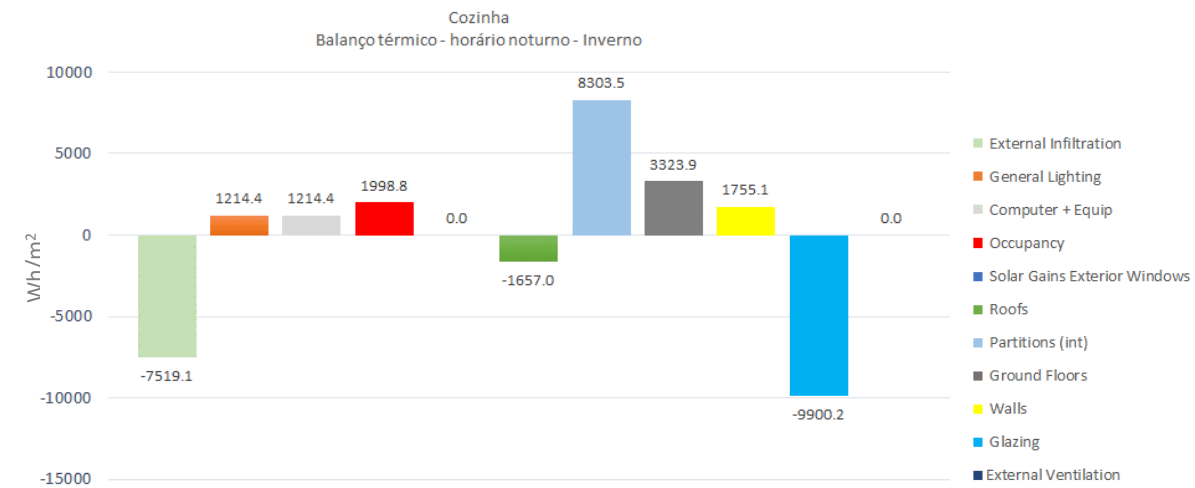
J9.6. COZINHA: BALANÇO TÉRMICO DE VERÃO EM HORÁRIO NOTURNO



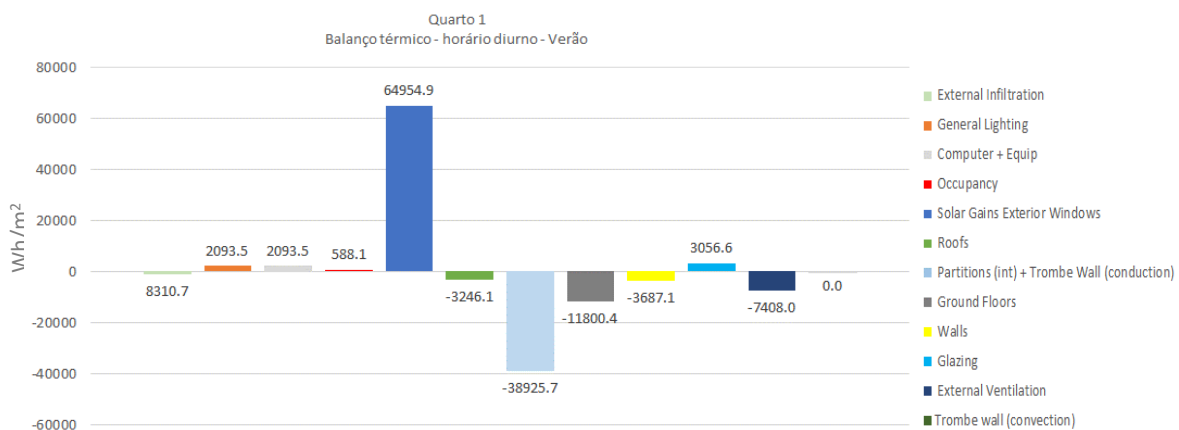
J9.7. COZINHA: BALANÇO TÉRMICO DE INVERNO EM HORÁRIO DIURNO



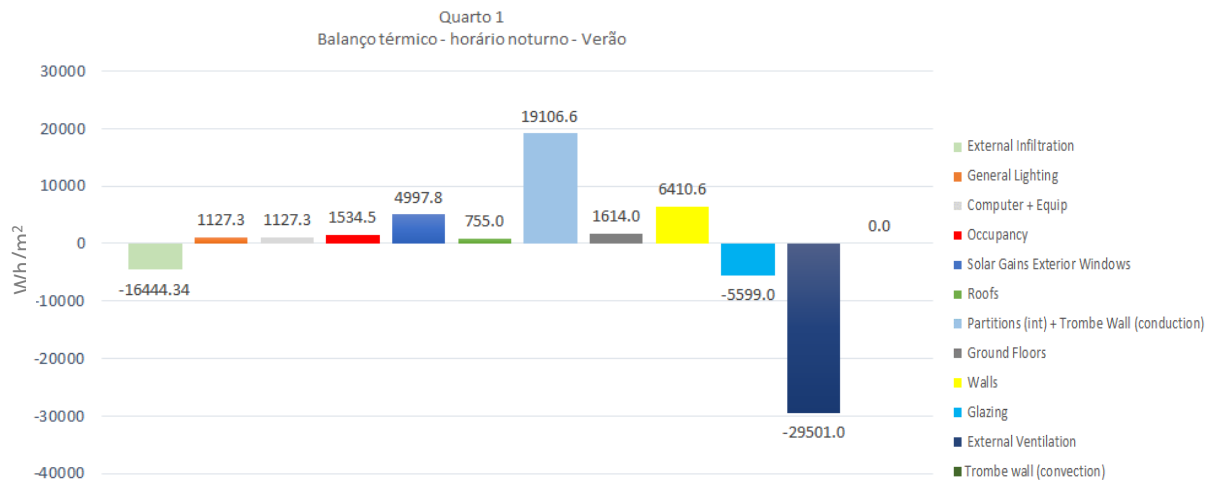
J9.8. COZINHA: BALANÇO TÉRMICO DE INVERNO EM HORÁRIO NOTURNO



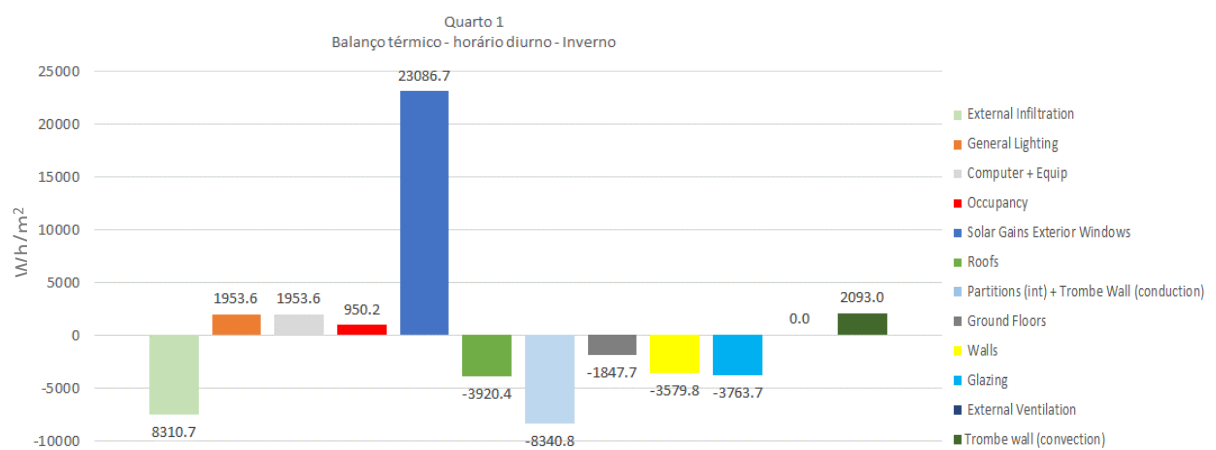
J9.9. QUARTO 1: BALANÇO TÉRMICO DE VERÃO EM HORÁRIO DIURNO



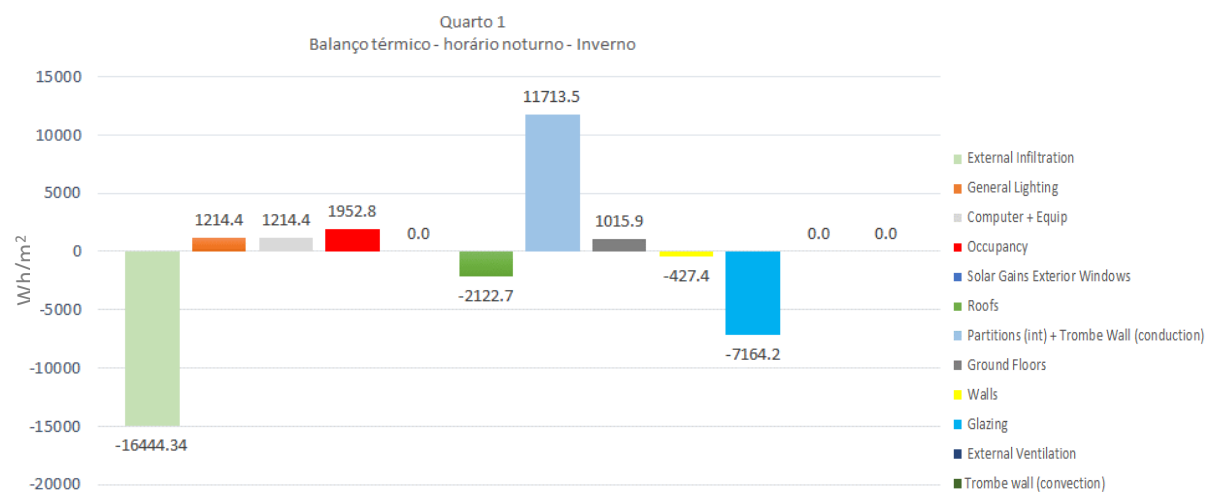
J9.10. QUARTO 1: BALANÇO TÉRMICO DE VERÃO EM HORÁRIO NOTURNO



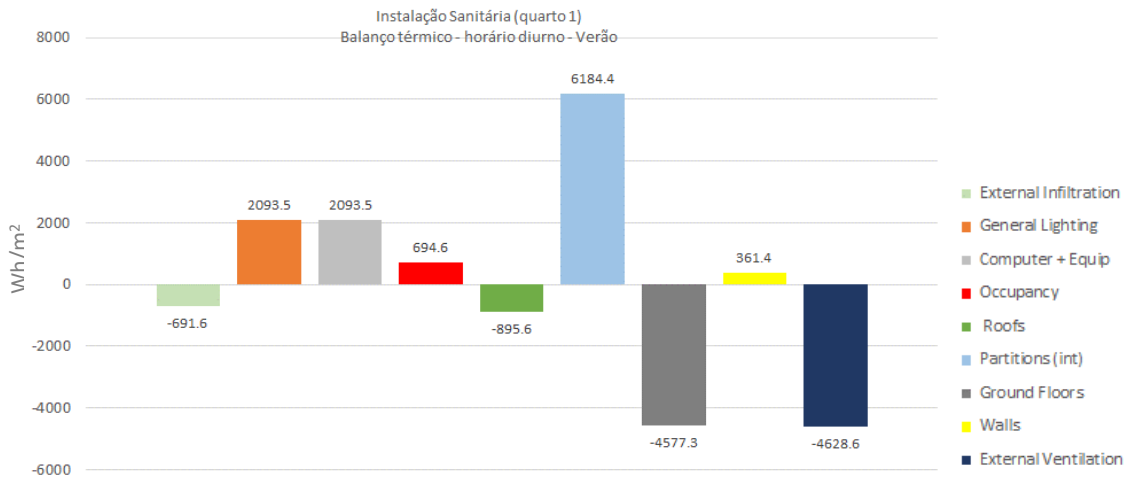
J9.11. QUARTO 1: BALANÇO TÉRMICO DE INVERNO EM HORÁRIO DIURNO



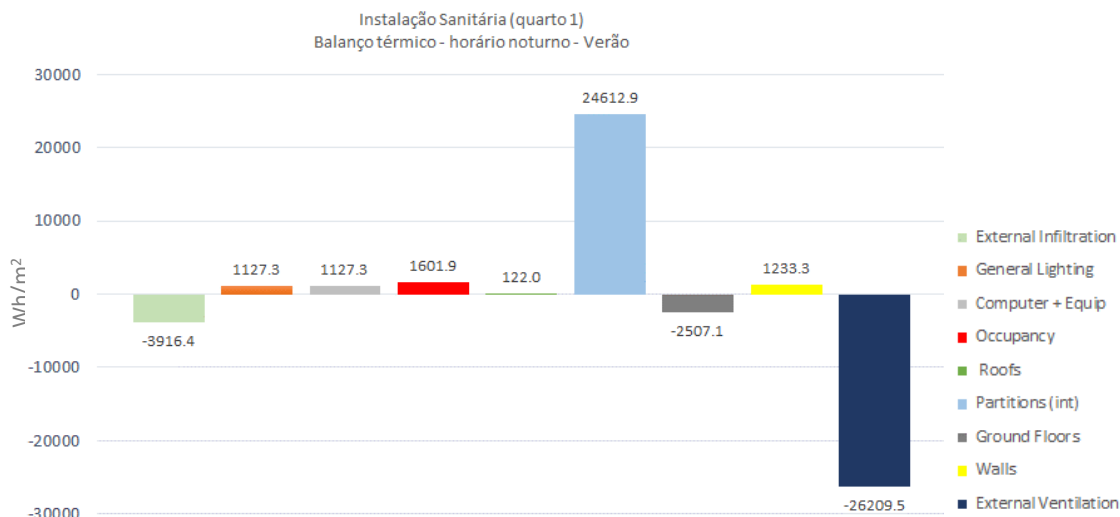
J9.12. QUARTO 1: BALANÇO TÉRMICO DE INVERNO EM HORÁRIO NOTURNO



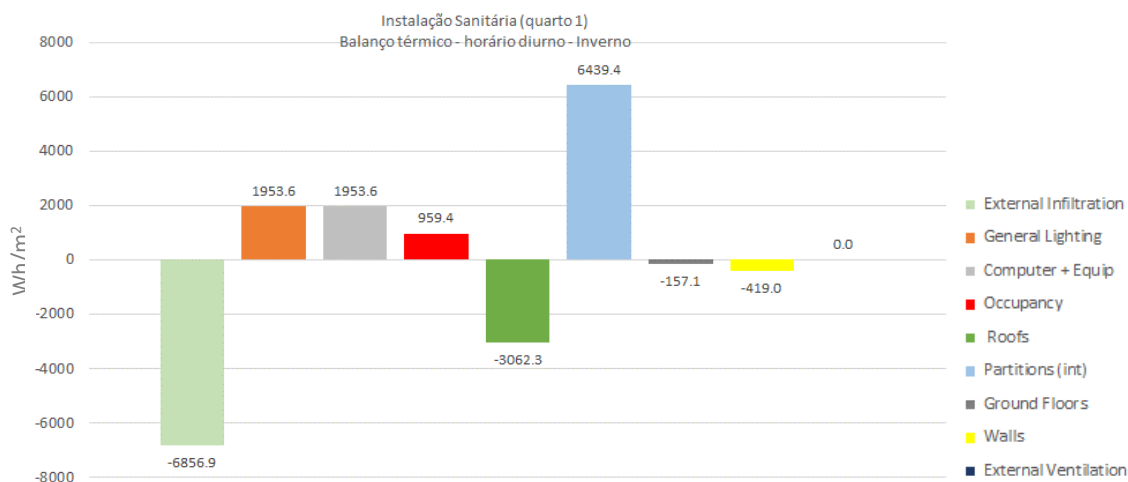
J9.13. INSTALAÇÃO SANITÁRIA (QUARTO 1): BALANÇO TÉRMICO DE VERÃO EM HORÁRIO DIURNO



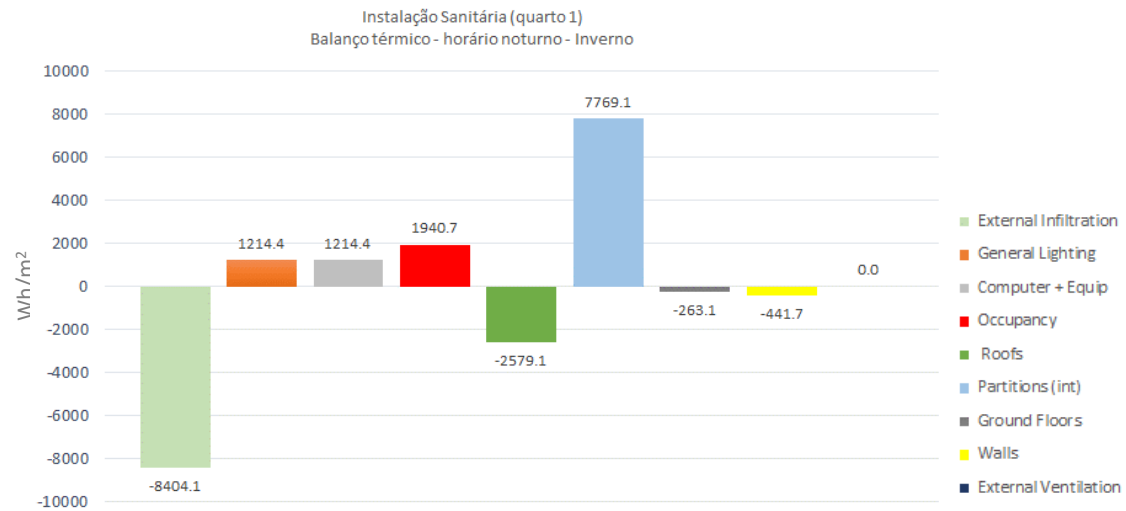
J9.14. INSTALAÇÃO SANITÁRIA (QUARTO 1): BALANÇO TÉRMICO DE VERÃO EM HORÁRIO NOTURNO



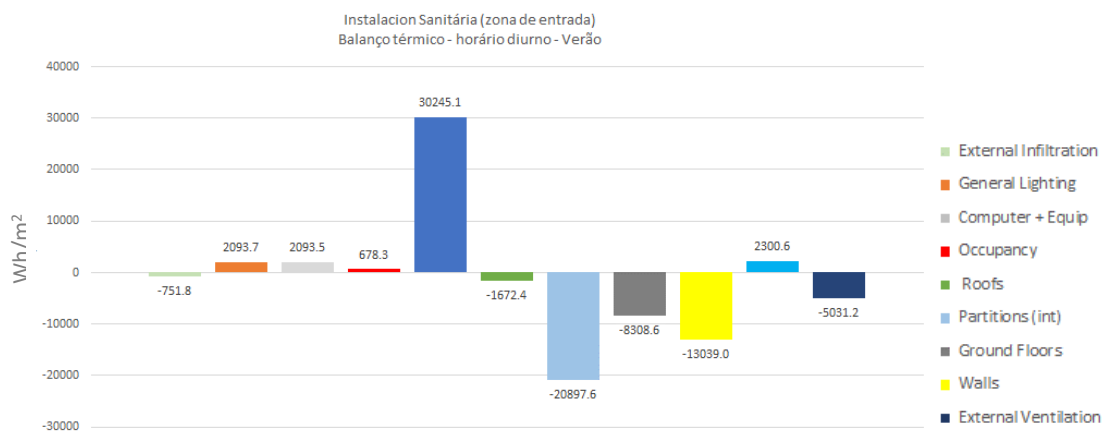
J9.15. INSTALAÇÃO SANITÁRIA (QUARTO 1): BALANÇO TÉRMICO DE INVERNO EM HORÁRIO DIURNO



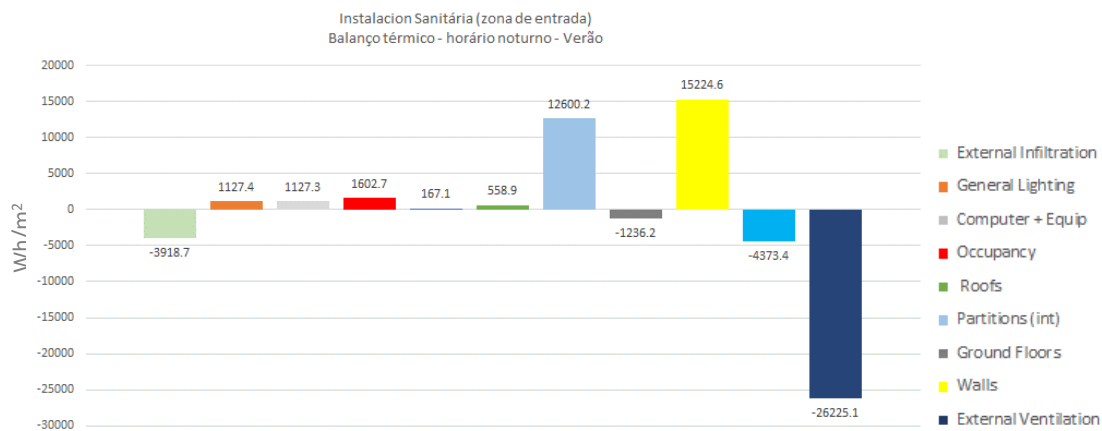
J9.16. INSTALAÇÃO SANITÁRIA (QUARTO 1): BALANÇO TÉRMICO DE INVERNO EM HORÁRIO NOTURNO



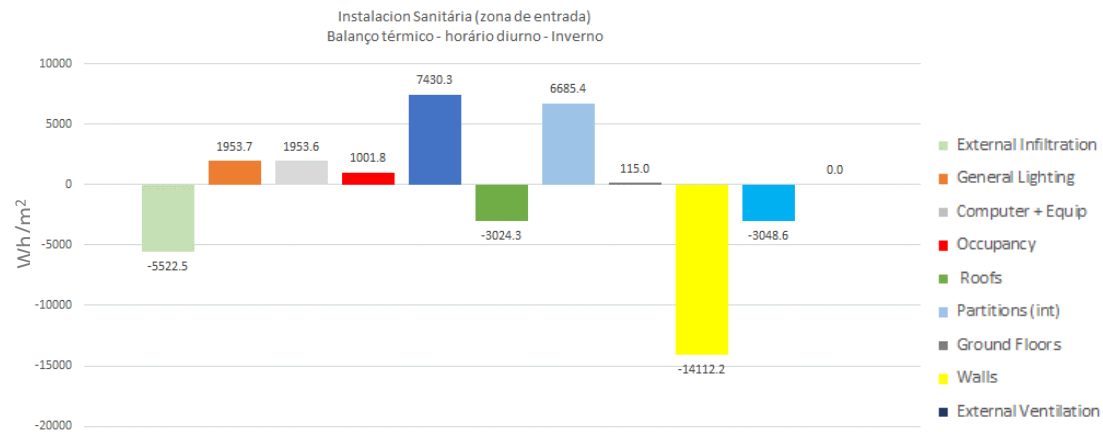
J9.17. INSTALAÇÃO SANITÁRIA (ZONA DE ENTRADA): BALANÇO TÉRMICO DE VERÃO EM HORÁRIO DIURNO



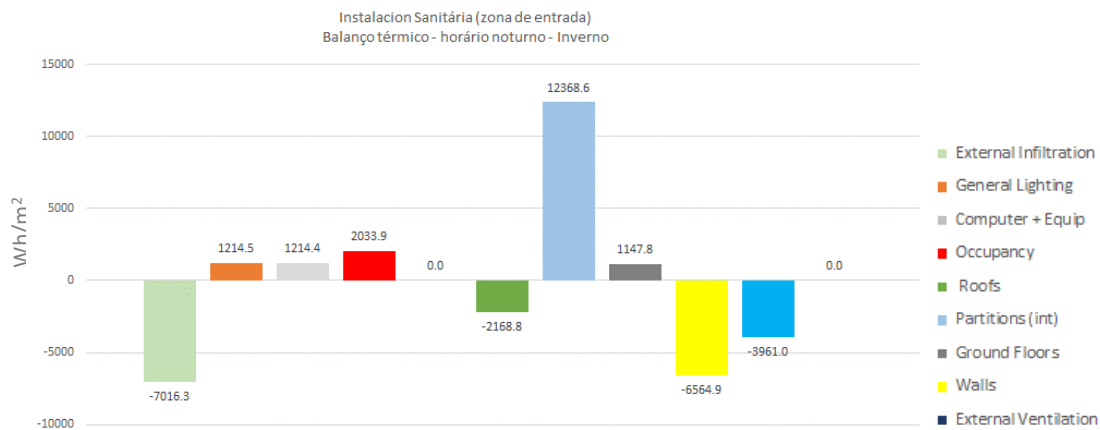
J9.18. INSTALAÇÃO SANITÁRIA (ZONA DE ENTRADA): BALANÇO TÉRMICO DE VERÃO EM HORÁRIO NOTURNO



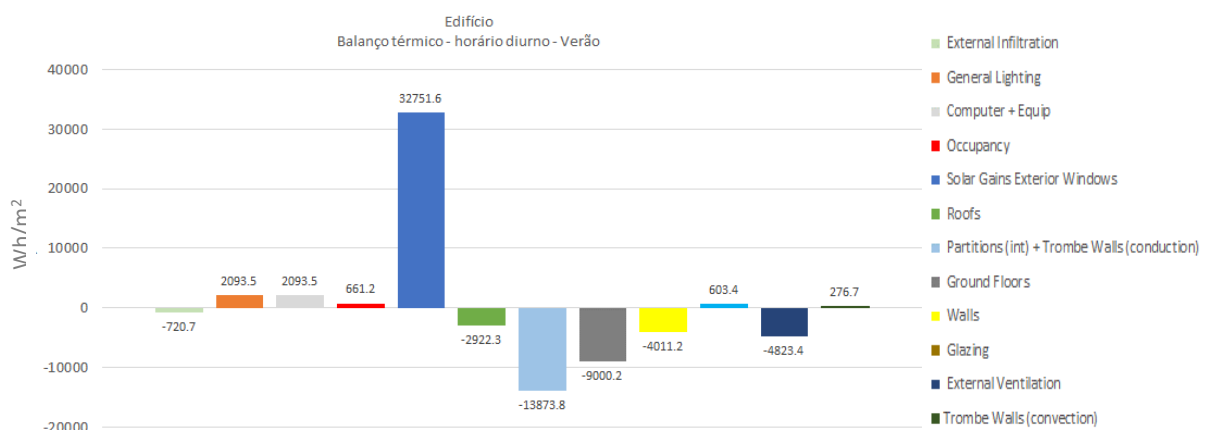
J9.19. INSTALAÇÃO SANITÁRIA (ZONA DE ENTRADA): BALANÇO TÉRMICO DE INVERNO EM HORÁRIO DIURNO



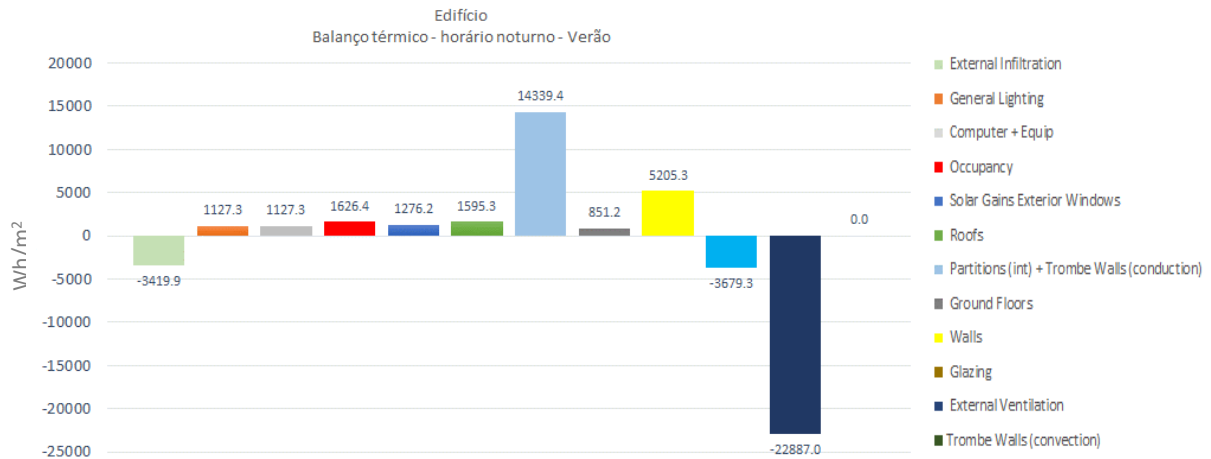
J9.20. INSTALAÇÃO SANITÁRIA (ZONA DE ENTRADA): BALANÇO TÉRMICO DE INVERNO EM HORÁRIO NOTURNO



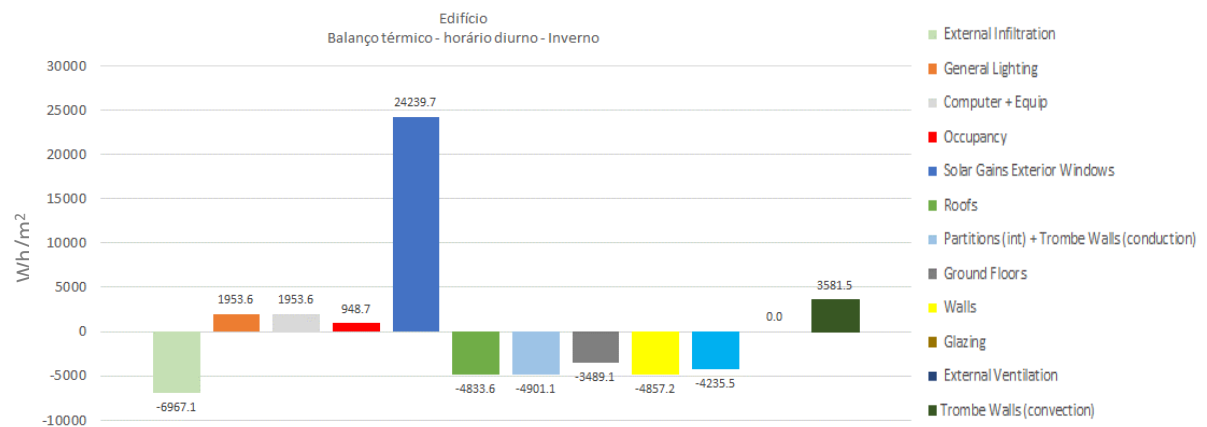
J9.21. EDIFÍCIO: BALANÇO TÉRMICO DE VERÃO EM HORÁRIO DIURNO



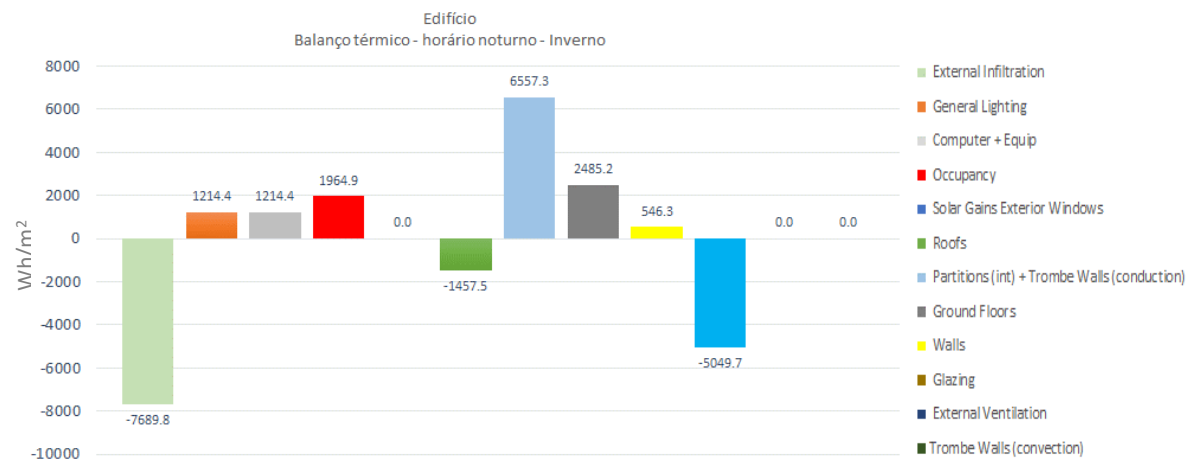
J9.22. EDIFÍCIO: BALANÇO TÉRMICO DE VERÃO EM HORÁRIO NOTURNO



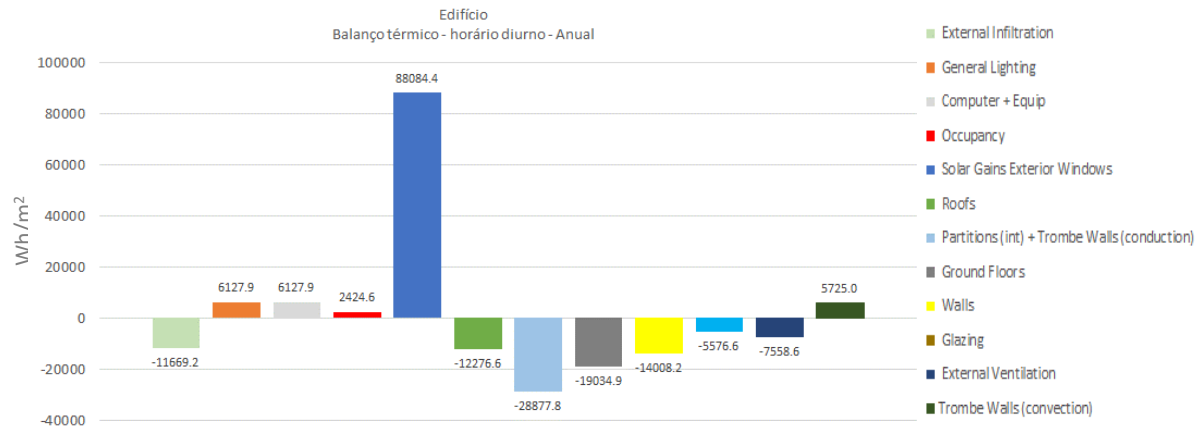
J9.23. EDIFÍCIO: BALANÇO TÉRMICO DE INVERNO EM HORÁRIO DIURNO



J9.24. EDIFÍCIO: BALANÇO TÉRMICO DE INVERNO EM HORÁRIO NOTURNO



J9.25. EDIFÍCIO: BALANÇO TÉRMICO ANUAL EM HORÁRIO DIURNO



J9.26. EDIFÍCIO: BALANÇO TÉRMICO ANUAL EM HORÁRIO NOTURNO

